

**MIKROZONASI PERCEPATAN GETARAN TANAH MAKSIMUM
MENGUNAKAN METODE KANAI (1966) DAN INTENSITAS
GEMPABUMI DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains

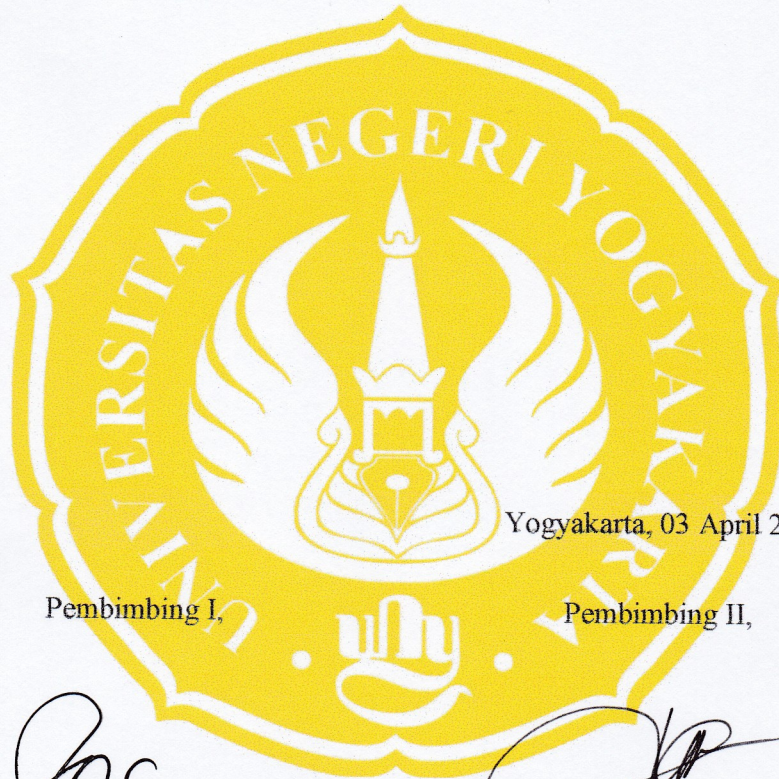


Oleh :
RIFKA ADDAWIYAH
NIM 12306144031

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul **“Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak”** yang disusun oleh Rifka Addawiyah, NIM. 12306144031 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 03 April 2017

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP. 19840223 200801 1 011

Denny Darmawan, M.Sc.
NIP. 19791202 200312 1 002

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “**Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak**” yang disusun oleh Rifka Addawiyah, NIM. 12306144031 ini telah dipertahankan didepan Dewan Penguji pada tanggal 10 April 2017 dan dinyatakan lulus.

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> NIP 19840223 200801 1 011	Ketua Penguji		20-04-17
2	<u>Denny Darmawan, M.Sc</u> NIP 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		20-04-17
3	<u>Nur Kadarisman, M.Si</u> NIP 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		20-04-17
4	-	Penguji Pendamping		

Yogyakarta, 21 April 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

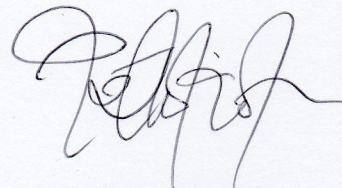
Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Rifka Addawiyah
NIM : 12306144031
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum
Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas
Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak

menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 03 April 2017

Yang menyatakan,



Rifka Addawiyah

NIM. 12306144031

MOTTO

“Dream, believe, and make it happen”
– Agnez Mo

Poin penting dari sebuah permulaan adalah keinginan.

The only way to defeat your fear is believe.

Success is achievement. While, struggling is a must.

We are the creator of our own future.

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
Al-Insyirah : 5

Life is too short to wait. Move!

PERSEMBAHAN

Dengan ijin-Nya kupersembahkan karya ini untuk:

- ❖ Kedua orang tua dan adik tercinta yang selalu memberikan doa, nasehat, serta dukungan demi terciptanya karya ini. Terimakasih atas kasih sayang yang tiada habisnya.
- ❖ Semua sahabat terdekat yang selalu mengingatkan, mendukung, dan menegur saat mulai lelah, serta terus menerus memberikan semangat yang luar biasa.
- ❖ Diri saya sendiri yang telah menciptakan karya ini dan telah melalui jalan yang sama sekali tidak mudah, berliku-liku, dan penuh tantangan.
- ❖ Almamater yang telah memberikan banyak pengalaman, Universitas Negeri Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kekuatan dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak” untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains dalam program studi Fisika ini dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari pihak-pihak yang telah membantu penulis. Sehubungan dari itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

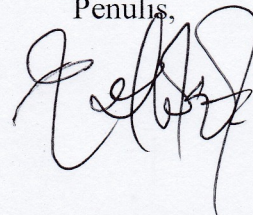
1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si dan Bapak Denny Darmawan, M.Sc selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, fasilitas, bimbingan, motivasi, serta kesabaran dan ketulusannya dalam menghadapi keluhan kesah anak didiknya.
4. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.

5. Semua staff dan laboran Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang selalu membantu dan menyediakan fasilitas.
6. Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta yang memberikan izin penelitian di kawasan jalur Sesar Opak.
7. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah membantu melancarkan penelitian ini.
8. Keluarga besar tercinta yang selalu memberikan dukungan, nasehat, dan doa yang sangat tulus.
9. Tim penelitian Sesar Opak YYURA (Umi Habibah, Yustina Dewi, Arif Sudrajat, dan Yuni Setiawati) dan tim penelitian Sesar Sungai Oyo (Meita Aulia Sari, Ika Kurniawati, dan Heningtyas) yang telah berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Semua pihak yang membantu dalam proses pengambilan data selama 5 hari di lokasi penelitian.
11. Teman-teman Geofisika UNY yang telah membantu penelitian ini.
12. Sahabat Kenyut (Winda, Lusi, Nana, Yunita, Umi, Yustina, Meita, dan Ika).
13. Teman-teman Physics E 2012 yang telah mendukung dan menyemangati dari mulai perkuliahan sampai selesainya skripsi ini.
14. Sahabat tercinta yang jauh disana, Anna Noor Fadillah, Tita Nurnaningsih, dan Lammaida Rhomatua Nababan yang selalu memberikan dukungan jarak jauh, doa, dan kesetiaan yang luar biasa. Salam rindu selalu untuk kalian.
15. Tete tercinta tempat berbagi cerita, my housemate Anggraeni Ayu Rachmautami.

16. Ibu Dewi dan Bapak Yulianto, ibu dan bapak kost yang selalu mengingatkan penulis agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
17. Ndembik Tofan yang selalu menjadi penyemangat dan berkata bahwa “ketakutan itu tidak ada, yang ada hanyalah bahaya”, dan selalu mengajarkan apa arti kehidupan.
18. Teman-teman KKN (Sifa, Erlinda, Bernadia, Hanavin, Okto, Ryan, & Nizar) serta teman-teman di Dusun Kalangbangi Wetan yang sering menanyakan kapan sidang, terimakasih sudah sering mengingatkan.
19. Rani Mita Sari, manuraku yang selalu mengingatkan, memberikan dukungan, dan kasih sayang seorang sahabat, teman seperjuangan semasa kuliah.
20. Teman-teman AJB (Anak Jalanan Bigo) yang selalu membantu ketika susah, teman berbagi cerita dan keluhan, teman yang selalu mengingatkan, teman yang terus menerus memberikan hangatnya kebersamaan.

Yogyakarta, 03 April 2017

Penulis,



Rifka Addawiyah

NIM. 12306144031

Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Opak

Oleh:
Rifka Addawiyah
12306144031

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran sinyal mikroseismik di kawasan jalur Sesar Opak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dan mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan intensitas gempabumi dalam skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI), dan mengetahui mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa berdasarkan peta kerusakan gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

Data penelitian ini diambil menggunakan seismometer tipe TDV-23S dan TDL-303S. Data mikrotremor diambil dari 39 titik data primer dengan interval setiap titik 2 km dan 48 titik data sekunder. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di setiap titik pengamatan. Nilai frekuensi dominan digunakan untuk mencari nilai periode dominan yang selanjutnya digunakan untuk mencari nilai percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode Kanai (1966). Intensitas gempabumi dicari menggunakan persamaan Wald (1999) dengan input nilai percepatan getaran tanah maksimum.

Hasil penelitian menyatakan bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum berkisar antara 39,24 – 485,37 cm/s² dengan intensitas gempabumi berada pada skala V, VI, VII, dan VIII MMI. Mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum dengan nilai tertinggi (titik 2) berada di Kecamatan Imogiri, sedangkan nilai PGA terendah (titik 31) berada di Kecamatan Prambanan. Berdasarkan hasil mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa, terdapat 3 desa yang termasuk dalam tingkat resiko tinggi kerusakan gempa yaitu Desa Wukirsari dan Desa Karangtengah yang berada di Kecamatan Imogiri, serta Desa Srimulyo yang berada di Kecamatan Piyungan. Untuk tingkat resiko sedang dan rendah menyebar di berbagai desa di kawasan jalur Sesar Opak.

Kata kunci: *Mikrotremor, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, PGA, Intensitas gempabumi, Sesar Opak.*

Microzonation of Peak Ground Acceleration Using Kanai (1966) Method and Earthquake Intensity in Opak Fault Lines Area

By:
Rifka Addawiyah
12306144031

ABSTRACT

Microseismic signal measurement had been done in Opak Fault lines area. The aims of this research were to determine the value of peak ground acceleration (PGA) and earthquake intensity in *Modified Mercalli Intensity* (MMI) scale, and to determine microzonation of the risk level of earthquake damage of Yogyakarta 27 May 2006 earthquake.

This research data were taken using TDV-23s and TDL-303S seismometer. The primary data were taken from 39 points with 2 km interval and 48 secondary data points. Microtremor data were analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to get predominant frequency and amplification factor at each point of observation. The predominant frequency was used to calculate the value of predominant period, then it was used to calculate the value of peak ground acceleration using Kanai method (1966). The earthquake intensity was obtained using Wald method (1999) with peak ground acceleration value as the input.

The result showed that the value of peak ground acceleration ranged from 39.24 to 485.37 cm/s² with earthquake intensity was on scale of V, VI, VII, and VIII MMI. The highest value of peak ground acceleration (point 2) was located in Imogiri sub district, while the lowest PGA value (point 31) was located in Prambanan sub district. Based on the results of microzonation of earthquake damage risk level, 3 villages had the high-risk earthquake damage, they were Wukirsari Village and Karangtengah Village which are located in Imogiri sub district, and Srimulyo Village in Piyungan sub district. For the medium and low risk level of earthquake damages spread at various villages in Opak Fault lines area.

Keywords : *Microtremor, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, PGA, Earthquake Intensity, Opak Fault.*

BAB I

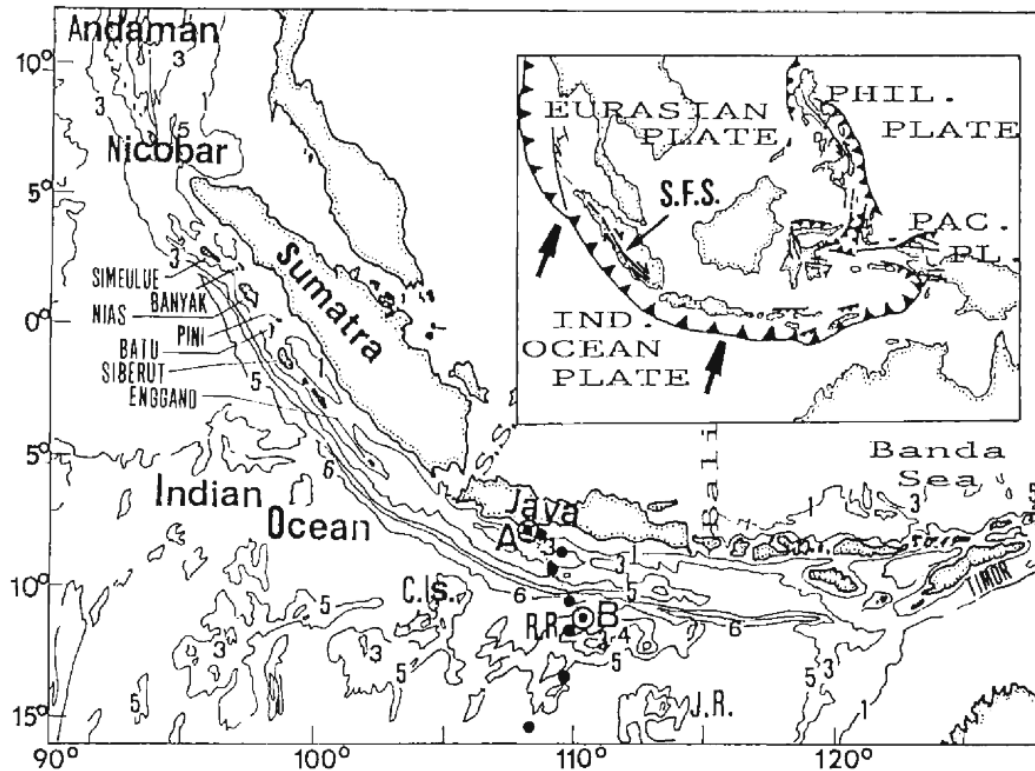
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara yang sangat potensial terjadi bencana alam terutama gempa bumi. Dilihat secara geografis, Indonesia terletak di daerah khatulistiwa dengan morfologi yang beragam dari daratan sampai pegunungan. Keragaman morfologi ini banyak dipengaruhi oleh faktor geologi terutama dengan adanya aktifitas di batas pertemuan pergerakan tiga lempeng besar tektonik (*triple junction plate convergence*) yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke utara, lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke tenggara dan lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke barat, di sekitar perairan Indonesia. Pergerakan lempeng-lempeng tektonik tersebut menyebabkan wilayah Indonesia menjadi rawan terhadap bencana gempa bumi. Ditambah dengan adanya patahan-patahan lokal yang saling bergerak satu sama lain, hal ini semakin memperbesar resiko terjadinya gempa bumi (Milson *et al.*, 1992).

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi bencana gempa bumi. Ditinjau dari kondisi geofisiknya, maka Yogyakarta dan sekitarnya terletak pada jalur tektonik dan vulkanik. Pada sisi utara terdapat Gunung Merapi yang sangat aktif, pada sisi selatan (Samudera Hindia) terdapat Palung Jawa yang merupakan jalur subduksi lempeng Indo Australia dan Eurasia. Pertemuan lempeng-lempeng ini merupakan penyebab utama terjadinya gempa tektonik di kawasan ini. Pergerakan lempeng-lempeng ini mengakibatkan ikut aktifnya sesar-sesar di wilayah Yogyakarta, yaitu Sesar Opak,

Sesar Dengkeng, Sesar Prambanan dan Sesar Parangtritis (Hartati, 2010). Peta jalur subduksi di selatan Pulau Jawa ditunjukkan pada Gambar 1.



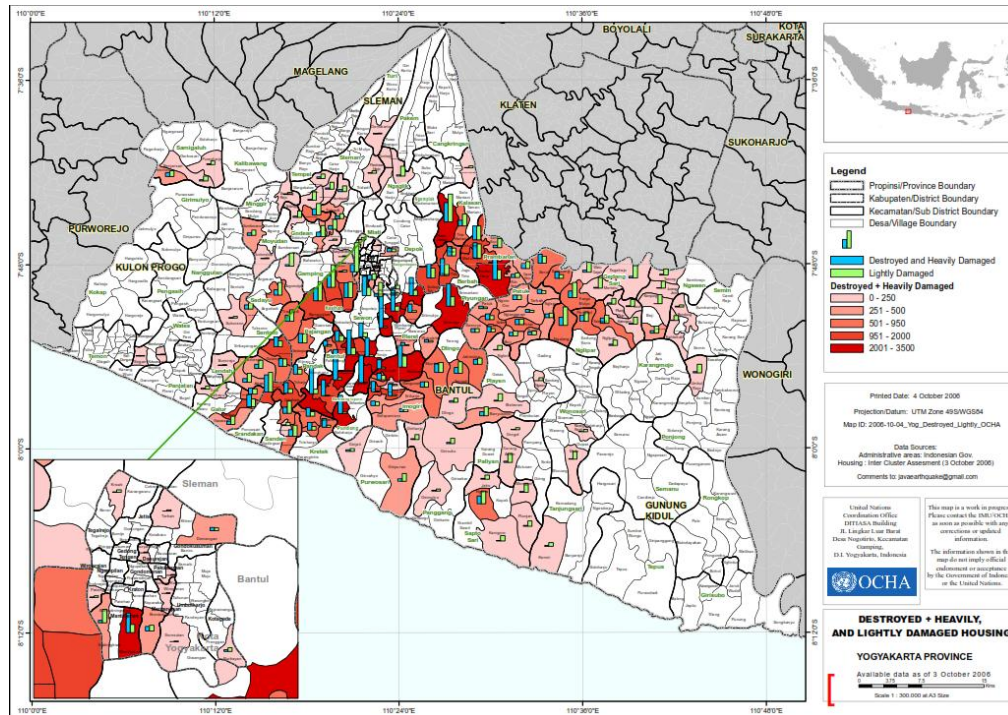
Gambar 1. Peta gambaran Pulau Jawa berada pada jalur subduksi (Ghose & Oike, 1988).

Dilihat dari sisi geologi wilayah, Yogyakarta termasuk cukup kompleks, karena secara struktur terdiri dari lipatan dan patahan. Lipatan terdiri dari antiklinal dan sinklinal yang terdapat pada Formasi Semilir dan Kepek di sisi timur, sedangkan patahan berupa sesar turun berpola *antithetic fault block* membentuk Graben Bantul. Formasi geologi yang dominan di wilayah Yogyakarta adalah endapan Merapi muda di bagian tengah (Graben Bantul) dan sebagian kecil berupa Formasi Sentolo di bagian barat, Aluvium, Andesit, Formasi Semilir, Kepek dan Nglanggran di sisi timur (Bappenas, 2009).

Terdapat keunikan jika dilihat dari struktur geologi Yogyakarta, yaitu adanya Sesar Opak. Sesar Opak merupakan patahan normal yang memisahkan dataran tinggi perbukitan Wonosari dengan dataran rendah Yogyakarta yang terisi oleh endapan Merapi yang masih muda. Sesar Opak merupakan sesar aktif yang memanjang di Sungai Opak dari Pantai Selatan ke utara Yogyakarta. Gempabumi tektonik di Yogyakarta yang terjadi pada 27 Mei 2006 berkekuatan 5,9 Skala Richter diduga disebabkan oleh adanya gerakan aktif dari Sesar Opak yang menimbulkan kerusakan sangat parah. Pusat gempa diperkirakan di bagian selatan Kabupaten Bantul dengan kedalaman 17-33 km di bawah permukaan tanah. Gempa tektonik ini dirasakan sangat kuat di Yogyakarta bagian selatan dan sekitarnya dengan intensitas VI – VII MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (BAKORNAS PBP, 2006). Episentrum dari gempa tersebut diperkirakan terjadi di muara Sungai Opak sehingga gempabumi mampu mereaktivasi sesar pada sungai tersebut dari muara di bibir pantai selatan Jawa memanjang ke arah timur laut sampai ke daerah Prambanan. Sesar Opak diketahui berarah timur laut-barat daya kurang lebih $U\ 235^{\circ}\ T/80^{\circ}$, dimana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan dengan lebar dari zona sesar ini diperkirakan sekitar 2,5 km (Subawa dkk, 2007).

Gempabumi 27 Mei 2006 menyebabkan adanya korban yang cukup banyak. Jumlah korban di Yogyakarta dan Jawa Tengah yaitu 5.743 orang meninggal dunia dan 38.423 orang luka-luka. Akibat gempa tersebut, 126.932 keluarga kehilangan rumah, 183.399 keluarga rumahnya rusak berat dan 259.816 keluarga rumahnya rusak ringan (Media Center dalam Haifani, 2008).

Berdasarkan peta kerusakan gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 menurut OCHA (*United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*) yang ditunjukkan pada Gambar 2, terlihat kerusakan rumah terjadi di hampir semua wilayah yang terlintasi Sesar Opak, dimana peta tersebut menunjukkan berapa banyak rumah yang rusak berat.



Gambar 2. Peta kerusakan gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 (OCHA, 2006).

Salah satu parameter gempabumi adalah percepatan getaran tanah. Percepatan getaran tanah adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan tanah mulai saat diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah dibagi menjadi dua yakni percepatan tanah maksimum dan percepatan tanah sesaat. Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan tanah yang dihitung pada titik amat di permukaan bumi dari riwayat terjadinya gempabumi dalam periode tertentu dan diambil nilai yang terbesar. Sedangkan

nilai percepatan tanah sesaat adalah nilai percepatan getaran tanah di saat terjadi gempa pada suatu titik tertentu (Hartati, 2010). Besarnya percepatan getaran tanah maksimum dapat diperoleh melalui pengukuran secara langsung dengan *accelerograph* atau diukur secara tidak langsung dengan pengolahan data mikrotremor.

Mikrotremor adalah getaran alami yang berasal dari alam seperti angin dan gelombang laut, bisa juga merupakan getaran yang berasal dari aktifitas manusia. Data mikrotremor diolah menggunakan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini membandingkan spektrum horizontal dengan spektrum vertikal dari sinyal mikrotremor. Parameter penting yang dihasilkan metode HVSr adalah frekuensi dominan dan amplifikasi (Nakamura, 1989). *Peak Ground Acceleration* (PGA) dari data mikrotremor dapat diperoleh dengan menggunakan metode Kanai (1966). Dipilihnya metode Kanai (1966) karena memperhitungkan karakteristik tanah yang ikut berpengaruh terhadap percepatan getaran tanah maksimum suatu tempat, sehingga parameter periode dominan tanah yang diperoleh dari analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode HVSr menjadi sangat penting. Metode Kanai (1966) melibatkan parameter magnitudo gempabumi, jarak episenter dengan titik pengukuran dan periode dominan tanah.

Tingkat resiko kawasan rawan bencana gempabumi dapat diukur berdasarkan intensitas gempa. Intensitas gempa lebih dari VII MMI memiliki tingkat resiko kerusakan yang tinggi. Secara garis besar, intensitas atau tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bergantung dari kekuatan dan kualitas

bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan serta percepatan tanah lokasi gempa bumi terjadi (Fauzi dalam Edwiza, 2005). Oleh karena itu, diperlukan nilai percepatan getaran tanah sehingga diperoleh nilai intensitas gempa dalam skala MMI di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan persamaan Wald.

Banyak penelitian yang membahas tentang percepatan getaran tanah maksimum. Di antaranya adalah nilai percepatan getaran tanah maksimum di Dusun Patuk dengan menggunakan metode Tong & Katayama (1988) yang berkisar $53,58-57,5 \text{ cm/s}^2$ (Lathifah, 2015). Nilai percepatan getaran tanah maksimum di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul dengan menggunakan metode Kanai (1966) berkisar $3,261-125,45 \text{ cm/s}^2$ (Fransisko, 2015). Hasil perhitungan percepatan getaran tanah maksimum di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan metode NGA (*Next Generation Attenuation*) yaitu berkisar $112,04-389 \text{ cm/s}^2$ (Afidah dkk, 2015). Nilai percepatan getaran tanah maksimum di Kabupaten Kulon Progo pada kasus gempa bumi yang terjadi di Kebumen tanggal 25 Januari 2014 dengan menggunakan metode Kanai (1966) berkisar antara $16-61 \text{ cm/s}^2$ (Lian, 2014). Berdasarkan referensi hasil penelitian yang telah dibaca penulis, belum diketahui nilai dan mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan metode Kanai (1996) serta nilai intensitas gempa dalam skala MMI berdasarkan analisis PGA dengan menggunakan persamaan Wald.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Informasi mengenai seismisitas sudah ada di kawasan jalur Sesar Opak namun masih terbatas di bagian selatan.
2. Penelitian sebelumnya tentang nilai dan mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode Kanai (1966) masih terbatas di beberapa kecamatan dan sebagian besar terbatas di bagian selatan Sesar Opak.
3. Belum diketahui informasi intensitas gempa dalam skala MMI di kawasan jalur Sesar Opak berdasarkan analisis PGA dengan menggunakan persamaan Wald.

C. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang diamati pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian terletak di kawasan jalur Sesar Opak dengan koordinat geografis 423986 – 448441 mT dan 9122313 – 9142269 mU ($7,7583^{\circ}$ LU – $8,0139^{\circ}$ LS dan $110,2858^{\circ}$ BB – $110,5324^{\circ}$ BT).
2. Mikrotremor diukur menggunakan seismometer tipe TDV-23S dan TDL-303S (*Digital Portable Seismograph*).
3. Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

4. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.
5. Data mikrotremor yang digunakan diambil dari 39 titik data primer yang berada di Kecamatan Kalasan, Kecamatan Prambanan, Kecamatan Berbah, Kecamatan Piyungan, Kecamatan Banguntapan, Kecamatan Pleret, Kecamatan Sewon, Kecamatan Bantul, Kecamatan Jetis, Kecamatan Imogiri, dan Kecamatan Bambanglipuro ditambah 47 titik data sekunder yang merupakan hasil dari penelitian BMKG Yogyakarta di antaranya berada di Kecamatan Sanden, Kecamatan Kretek, Kecamatan Purwosari, Kecamatan Pundong, Kecamatan Jetis, Kecamatan Pleret, dan Kecamatan Imogiri.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai percepatan getaran tanah maksimum di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan metode Kanai (1966)?
2. Bagaimanakah mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan metode Kanai (1966)?
3. Berapakah nilai intensitas gempa dalam skala MMI di kawasan jalur Sesar Opak berdasarkan hasil analisis percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan persamaan Wald?
4. Bagaimanakah mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa berdasarkan peta kerusakan gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan metode Kanai (1966).
2. Menentukan mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum di kawasan jalur Sesar Opak dengan menggunakan metode Kanai (1966).
3. Menentukan nilai intensitas gempa dalam skala MMI di kawasan jalur Sesar Opak berdasarkan hasil analisis percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan persamaan Wald.
4. Menentukan mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa berdasarkan peta kerusakan gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

F. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi kuantitatif tentang percepatan getaran tanah maksimum dan intensitas gempa di kawasan jalur Sesar Opak.
2. Memberikan informasi visual mengenai daerah yang rawan gempabumi di kawasan jalur Sesar Opak.
3. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang kegempaan, khususnya bagi masyarakat di kawasan jalur Sesar Opak.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Dasar Teori

1. Gempabumi

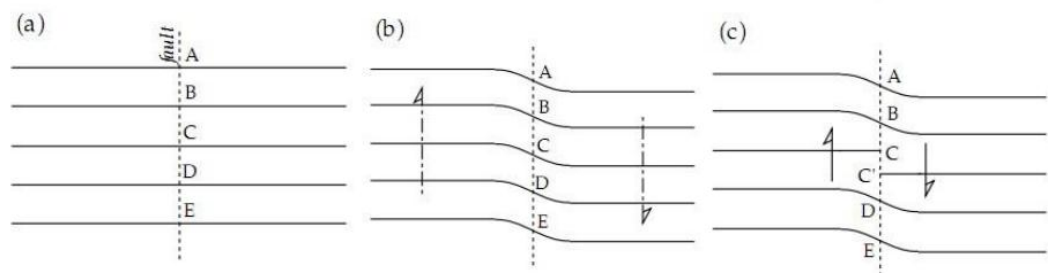
Gempabumi adalah pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik dan ditandai dengan patahnya lapisan tanah di bawah permukaan bumi. Ketika pergeseran ini terjadi, energi yang dihasilkan menimbulkan getaran yang disebut gelombang seismik. Gelombang ini menjalar menjauhi pusat terjadinya gempa ke segala arah di dalam bumi. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, efek getarannya tergantung pada magnitudo, jarak episenter, kedalaman pusat gempa, kualitas bangunan dan kondisi tanah (Kirbani, 2012).

Teori *elastic rebound* juga menyatakan bahwa gempabumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastik batuan akibat adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan litosfer. Deformasi batuan ini terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran yang akhirnya menyebabkan terjadinya sesar secara tiba-tiba. Energi tekanan yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran atau gelombang seismik yang kita kenal sebagai gempabumi (Lilie dan Robert, 1999). Gempabumi dinyatakan dalam skala dari satu hingga sembilan berdasarkan ukuran skala Richter (menunjukkan

besarnya energi yang dibebaskan pada pusat gempa). Kekuatan gempa diukur oleh alat yang disebut seismograf atau seismometer.

a. Mekanisme Gempabumi

Sebagian besar gempabumi adalah gempabumi tektonik, yaitu gempabumi yang diakibatkan oleh aktivitas lempeng tektonik. Oleh karena itu, daerah di sekitar pertemuan antar lempeng tektonik adalah daerah yang sering terjadi gempa bumi. Pelat-pelat tektonik bergerak secara perlahan, relatif terhadap satu sama lain dan menimbulkan regangan elastis. Jika regangan ini melebihi kapasitas batuan, maka batuan akan mengalami keruntuhan atau patah (*rupture*).



Gambar 3. Pemodelan *Elastic Rebound Theory* (Lowrie, 2007).

Gambar 3 menunjukkan urutan peristiwa dari *Elastic Rebound Theory*. Penambahan energi *strain* secara bertahap digambarkan oleh perkembangan dari (a) ke (b). Gambar 3(a) menunjukkan keadaan awal dengan bagian A sampai E merupakan batuan kompak yang dicirikan dengan garis-garis menyambung (yang sebenarnya tidak ada). Karena ada gaya yang bekerja pada batuan tersebut, maka pada bagian kiri batuan akan naik sedangkan pada bagian kanan batuan akan bergerak turun, sehingga terjadi deformasi pada batuan tersebut. Sifat elastik batuan akan menyebabkan garis-garis tadi ikut terbawa oleh gaya yang bekerja

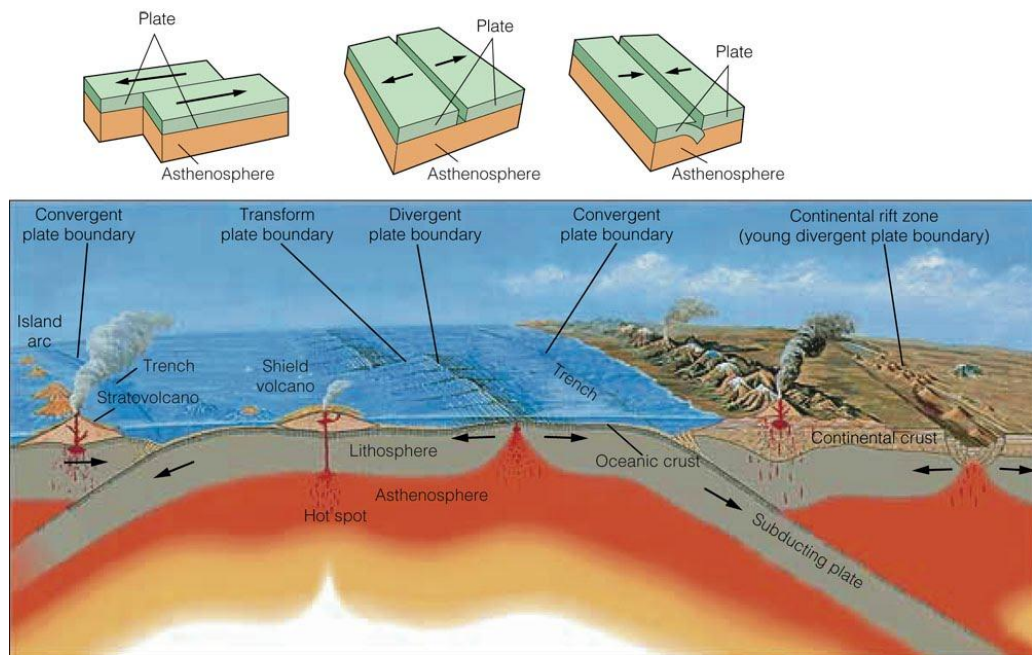
dan terjadilah pembengkokan (Gambar 3(b)). Pada akhirnya batuan yang mengalami deformasi tidak dapat lagi menahan akumulasi *stress* yang melampaui batas elastisitas batuan sehingga batuan patah menjadi dua bagian yang dicirikan dengan adanya garis-garis yang tidak menyambung (Gambar 3(c)). Semakin tinggi kekuatan batuan dalam menahan *stress* maka semakin besar pula energi yang dilepaskan (Lowrie, 2007). Dengan perkataan lain, semakin besar periode ulang suatu gempabumi semakin besar pula gempabumi yang akan terjadi. Semakin besar magnitudo gempabumi maka makin besar pula percepatan tanah yang terjadi di suatu tempat.

b. Penyebab Terjadinya Gempabumi

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas. Oleh karena itu, lempeng tektonik ini bebas untuk bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Daerah perbatasan lempeng-lempeng tektonik merupakan tempat-tempat yang memiliki kondisi tektonik yang aktif, yang menyebabkan gempabumi, gunung berapi dan pembentukan dataran tinggi (Kusky, 2008).

Litosfer merupakan batuan yang relatif dingin dan bagian paling atas berada pada kondisi padat dan kaku. Di bawah lapisan ini terdapat batuan yang jauh lebih panas yang disebut astenosfer. Lapisan ini selalu dalam keadaan tidak kaku karena panasnya, sehingga dapat bergerak sesuai dengan proses pendistribusian panas yang disebut aliran konveksi. Lempeng tektonik yang merupakan bagian dari litosfer padat dan terapung di atas astenosfer ikut bergerak

satu sama lainnya. Ada tiga kemungkinan pergerakan suatu lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya, yaitu kedua lempeng saling menjauhi (*divergent*), saling mendekati (*convergent*) dan saling geser (*transform*) (Kusky, 2008), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Gambar 4. Gerakan lempeng bumi (Thomson, 2006).

Umumnya, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0-15 cm per tahun. Kadang-kadang gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tidak lagi kuat menahan gerakan tersebut sehingga terjadi pelepasan mendadak yang kita kenal sebagai gempa bumi (Thomson, 2006).

2. Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan merupakan gelombang dengan amplitudo tetap yang merambat dengan kecepatan tertentu. Gelombang berjalan merambat lurus pada arah mendatar. Gelombang berjalan menyimpang ke arah vertikal (sumbu y) dan bergerak pada arah mendatar (sumbu x) (Yaz, 2007).

Semua gelombang akan dapat merambat dari sumber hingga ke tujuannya. Rumus kecepatan dan percepatan gelombang dapat diketahui melalui persamaan yang ada. Kecepatan gelombang ini dapat diperoleh dari turunan pertama pada persamaan simpangan gelombang berjalan.

$$y = A \sin (\omega t - kx) \quad (1)$$

dengan y menunjukkan simpangan (m), A adalah amplitudo (m), ω merupakan kecepatan sudut (rad/s), t menunjukkan waktu (s) dan x menunjukkan jarak tempuh gelombang (m).

Persamaan kecepatan (v) pada gelombang berjalan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} v &= A \sin (\omega t - kx) \\ &= \frac{d}{dt} A \sin (\omega t - kx) \\ &= \omega A \cos (\omega t - kx) \end{aligned} \quad (2)$$

Sementara itu, persamaan percepatan (a) gelombang berjalan dapat diperoleh dari turunan persamaan kecepatan dengan rumus sebagai berikut:

$$a = \frac{d}{dt} \omega A \cos (\omega t - kx)$$

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t - kx) \quad (3)$$

Energi gelombang merupakan energi mekanik yang dibawa atau disalurkan gelombang ketika merambat. Energi gelombang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{1}{2}k.A^2 \text{ dengan } k = 4\pi^2.m.f^2 \quad (4)$$

Sehingga persamaan energi gelombang menjadi

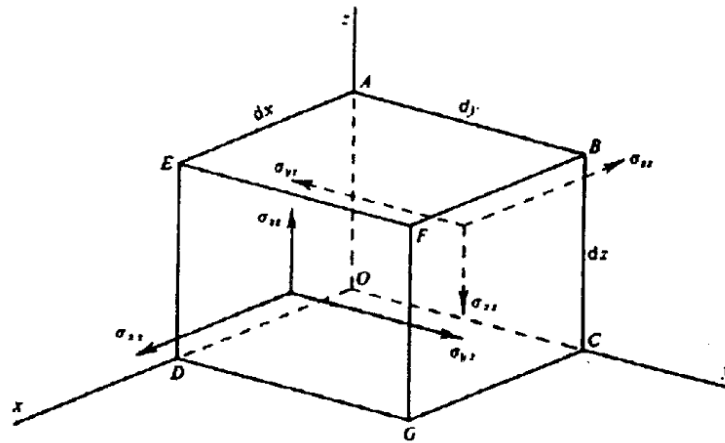
$$E = 2\pi^2.m.f^2.A^2 \quad (5)$$

dengan E adalah energi gelombang (J), k adalah bilangan gelombang, A adalah amplitudo (m), m adalah massa beban (kg), dan f adalah frekuensi (Hz).

3. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbunan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah penimbunan gelombang akibat gangguan yang terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Adanya pergerakan dan gaya pada bumi menyebabkan batuan terdeformasi. Peristiwa deformasi ini

berkaitan erat dengan konsep tegangan (*stress*), dan regangan (*strain*) (Telford *et al.*, 2004). *Stress* didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Jadi, ketika sebuah benda diberi gaya, maka *stress* adalah perbandingan antara gaya dengan luas area dimana gaya tersebut bekerja. Sedangkan *strain* adalah perubahan bentuk dan ukuran suatu benda elastis akibat adanya *stress* yang bekerja pada benda tersebut. Persamaan gelombang seismik dapat didekati dengan meninjau komponen gaya-gaya tertentu yang bekerja pada sebuah medium homogen berupa kubus seperti yang ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Komponen-komponen gaya pada medium kubus (Telford *et al.*, 2004).

Stress yang bekerja pada setiap permukaan medium dipandang berada pada keadaan tidak setimbang. *Stress* yang bekerja pada salah satu permukaan kubus tersebut (misal OABC) mempunyai komponen komponen sebagai berikut:

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (6)$$

dengan σ_{xx} adalah *stress* searah sumbu x pada bidang yang tegak lurus sumbu x , σ_{yx} adalah *stress* searah sumbu y pada bidang yang tegak lurus sumbu x , σ_{zx}

adalah *stress* searah sumbu z pada bidang yang tegak lurus sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu x pada bidang yang tegak lurus sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu y pada bidang yang tegak lurus sumbu x , $\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx$ adalah perubahan *stress* searah sumbu z pada bidang yang tegak lurus sumbu x .

Stress yang bekerja pada permukaan yang berhadapan (misal OABC dan DEFG) memiliki arah yang saling berlawanan, sehingga *stress* total yang dihasilkan adalah:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (7)$$

Stress tersebut bekerja pada suatu area dengan luas $dydz$ dan volume $dydzdz$. Maka kita dapat memperoleh gaya per satuan volume pada elemen medium tersebut pada arah sumbu x, y , dan z yang dapat diekspresikan dengan $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}; \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x}; \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x}$. Sehingga didapatkan total gaya per satuan volume pada arah sumbu x dalam persamaan:

$$\left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} \right) \quad (8)$$

Pada Hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda (m) dan percepatannya (a). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas benda $\rho = m/V$, maka

$$\rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \quad (9)$$

Hubungan pada persamaan (9) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu x .

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah lainnya.

Persamaan hubungan antara tegangan (*stress*) σ dan regangan (*strain*) ε adalah (Telford *et al.*, 2004) :

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu\varepsilon_{ii} , \quad i = x, y, z \quad (10)$$

$$\sigma_{ij} = \mu\varepsilon_{ij} , \quad i \neq j \quad (11)$$

dengan

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} &= \varepsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} &= \varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} &= \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

u, v, w menunjukkan komponen perpindahan partikel, λ' adalah konstanta Lamé, μ merupakan modulus geser (N/m^2), dan Δ menunjukkan regangan volum atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (13).

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (13)$$

Dengan menerapkan persamaan (10), (11), dan (12) maka persamaan (9) dapat diubah menjadi persamaan (14) :

$$\rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (14)$$

dengan

$$\nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right).$$

Melalui cara yang sama, persamaan (14) dapat diterapkan pada kasus pergerakan partikel searah sumbu y dan z sebagai berikut.

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (15)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (16)$$

dengan u, v, w secara berurutan menunjukkan pergeseran partikel pada arah sumbu x , sumbu y , dan sumbu z .

Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu x , y , dan z . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (14), (15), dan (16) masing-masing terhadap x , y , dan z . Berdasarkan persamaan (14) dapat diperoleh persamaan (17).

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left(\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \\ &\quad \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + 2\mu) \nabla^2 \Delta \\ \frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \nabla^2 \Delta \end{aligned} \quad (17)$$

Persamaan (17) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang seismik longitudinal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-P (v_p) sebagai :

$$v_p = \left(\frac{\lambda' + 2\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Untuk mendapatkan persamaan gelombang transversal atau gelombang seismik S, persamaan (15) didiferensialkan terhadap z dan persamaan (16)

didiferensialkan terhadap y . Hasil pendiferensialan persamaan (15) dikurangi dengan hasil pendiferensialan persamaan (16) menghasilkan :

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (19)$$

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (20) sebagai (Telford *et al.*, 2004) :

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} ; \quad \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} ; \quad \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (20)$$

Dengan menerapkan persamaan (20) pada persamaan (19), didapatkan persamaan:

$$\frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta_x \quad (21)$$

dengan θ_x menyatakan gerakan rotasi tegak lurus terhadap sumbu x , sedangkan arah perambatan gelombangnya searah dengan sumbu x . Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu y dan sumbu z digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan :

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_y) = \mu \nabla^2 (\theta_y) \quad (22)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_z) = \mu \nabla^2 (\theta_z) \quad (23)$$

Persamaan (21), (22), dan (23) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (21) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-S sebagai :

$$v_s = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

dengan v_s adalah kecepatan gelombang-S (m/s), μ adalah modulus geser (N/m^2) dan ρ adalah densitas (kg/m^3).

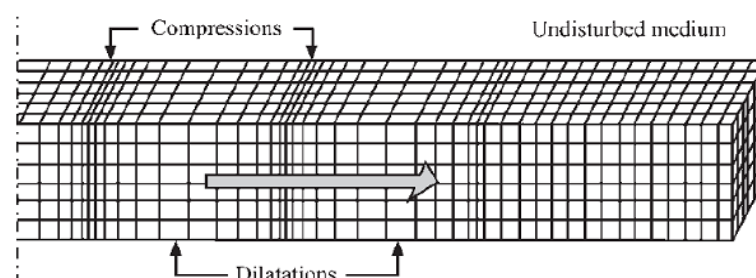
Menurut Telford *et al.* (2004), gelombang seismik terdiri dari dua tipe, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan biasa disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel, media dan arah penjalarannya, gelombang badan dibedakan menjadi dua yaitu :

1) Gelombang P (Primer/*Pressure*)

Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, sehingga menjadi gelombang yang pertama kali terdeteksi oleh seismograf. Gelombang P dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Ketika gelombang kompresi melalui suatu medium, partikel seolah-olah bergerak maju mundur searah dengan arah penjalaran gelombangnya (Gambar 6).

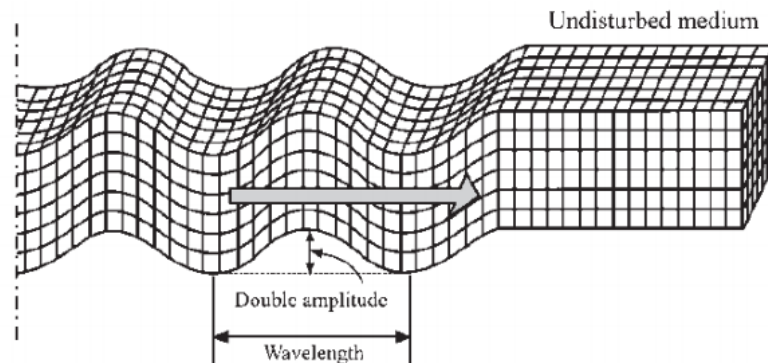


Gambar 6. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

2) Gelombang S (Sekunder/*Shear*)

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau *shear wave*, gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah gerak perambatannya (Gambar 7).

Gelombang ini hanya dapat menjalar melalui medium padat karena medium cair dan gas tidak punya daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Gelombang sekunder (S) memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang primer, sehingga terdeteksi oleh seismograf setelah gelombang primer (Elnashai dan Sarno, 2008).



Gambar 7. Ilustrasi Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).

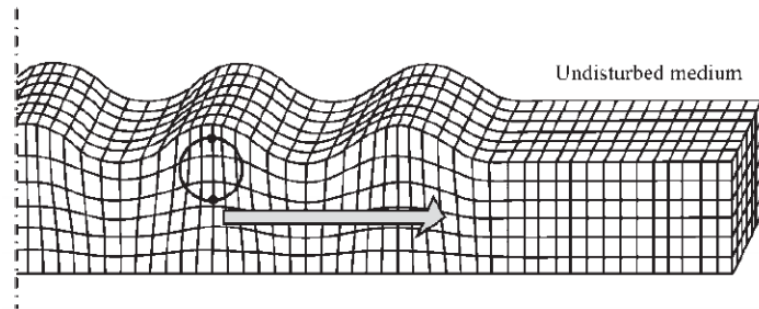
b. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini menjalar pada batas permukaan medium di permukaan lapisan bumi. Berdasarkan sifat gerakan partikel pada media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks yang memiliki frekuensi rendah dan amplitudo yang besar. Gelombang ini menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik medium (Susilawati, 2008). Terdapat dua jenis gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

1) Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai elips. Karena menjalar di

permukaan, amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudo besar dan frekuensi rendah. Arah rambatnya tegak lurus terhadap getaran dan searah bidang datar. Ilustrasi gelombang ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

Kecepatan gelombang Rayleigh dirumuskan sebagai (Elnashai dan Sarno, 2008) :

$$V_R = 0,92 V_S \quad (25)$$

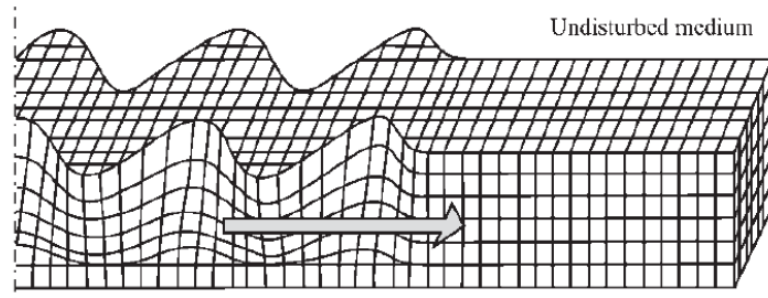
dengan V_R adalah kecepatan Rayleigh dan V_S adalah kecepatan gelombang S. Gerakan partikel gelombang Rayleigh adalah vertikal, sehingga pada saat terjadi gempabumi besar, gelombang Rayleigh terlihat bergerak ke atas dan ke bawah pada permukaan tanah dan hanya ditemukan pada komponen vertikal seismogram.

2) Gelombang Love

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal dan merupakan gelombang S horizontal yang arah

penjalarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah and Fisher, 2009).

Gambar 9 menunjukkan ilustrasi penjalaran gelombang Love.



Gambar 9. Ilustrasi gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008).

Gelombang Love lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan lebih dulu sampai pada seismograf. Kecepatan gelombang Love dinyatakan sebagai:

$$V_R < V_Q < V_S \text{ (km/s)}$$

dengan V_R adalah kecepatan gelombang Rayleigh, V_Q adalah kecepatan gelombang Love, dan V_S adalah kecepatan gelombang S. Saat terjadi gempa, gelombang Love adalah gelombang permukaan yang menyebabkan tanah mengalami pergeseran ke arah horizontal (Lowrie, 2007).

4. Seismograf dan seismometer

Seismograf merupakan instrumen yang dapat mendeteksi dan mencatat pergerakan tanah atau getaran tanah akibat gempabumi beserta informasi waktu yang tepat. Seismograf terdiri dari seismometer, penunjuk waktu yang akurat, dan *digitizer* untuk merekam sinyal yang diperoleh dari seismometer. Hasil rekaman pergerakan tanah dari seismograf disebut seismogram. Pada penelitian ini

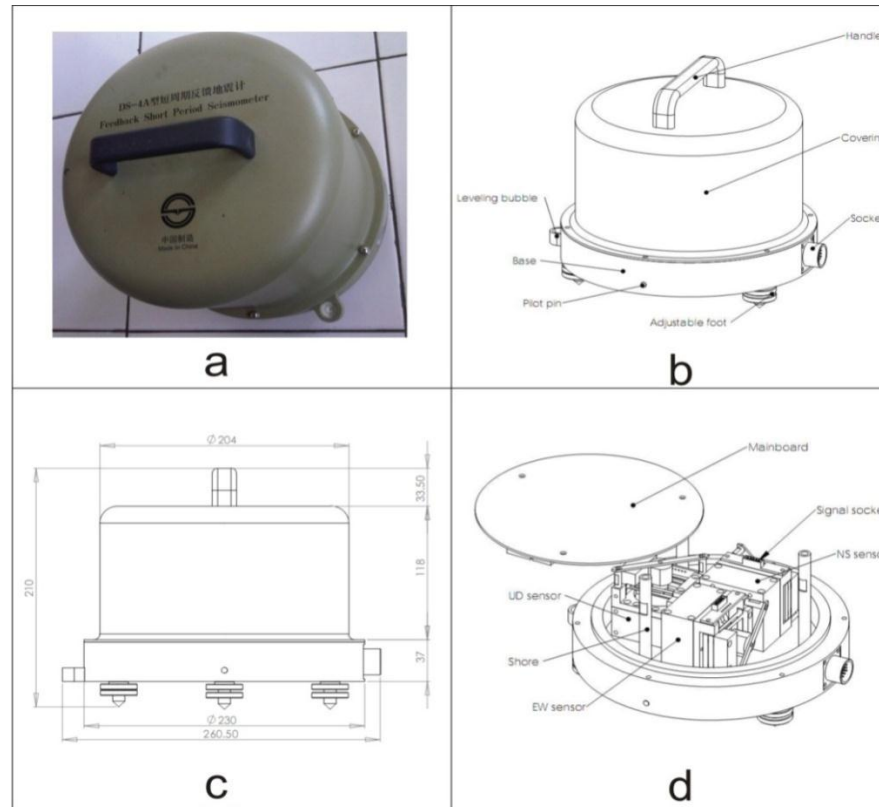
seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S.

Gambar 10 menunjukkan bentuk fisik seismograf TDL-303S.



Gambar 10. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S.

Seismometer merupakan sensor yang dapat merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang dapat direkam oleh seismograf. Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah. Tiga detektor ini digunakan untuk mendeteksi getaran dari dalam tanah dan getaran lain di sekitar lokasi yang menyentuh tanah. Pada penelitian ini seismometer yang digunakan adalah seismometer dengan tipe TDV-23S. Seismometer tipe TDV-23S mendeteksi variabel kecepatan dari getaran tanah (TAIDE, 2010). Seismometer tipe TDV-23S ditunjukkan pada Gambar 11.



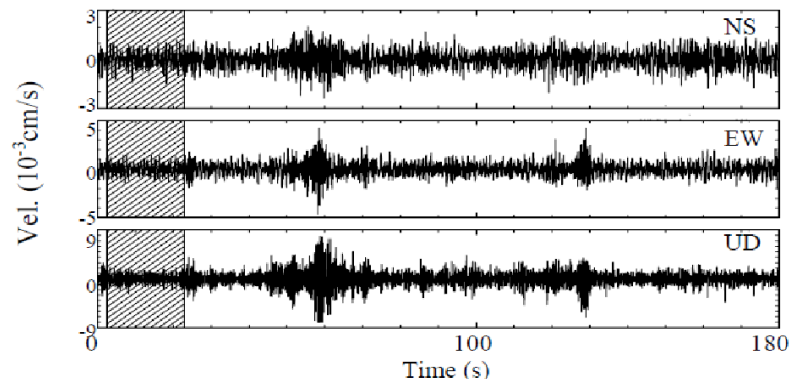
Gambar 11. (a) Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S; (b) Konstruksi seismometer tipe TDV-23S; (c) Dimensi seismometer tipe TDV-23S; (d) Struktur bagian dalam seismometer tipe TDV-23S (TAIDE, 2010).

5. Mikrotremor

Mikrotremor atau yang biasa disebut dengan *ambient noise* adalah aktivitas getaran harmonik alami dari tanah yang terjadi secara terus menerus dengan amplitudo rendah yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan akibat peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan (Tokimatsu, 2004).

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar $0,1-1 \mu\text{m}$. Mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan

rentang periodenya. Jenis pertama adalah mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 detik dan keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik, keadaan ini terkait struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu *et al.*, 2003). Tampilan data mikrotremor ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan mikrotremor pada perangkat lunak (Mirzaoglu *et al.*, 2003).

Pengukuran mikrotremor banyak dilakukan pada studi penelitian struktur tanah untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Observasi mikrotremor dapat memberikan informasi mengenai sifat getaran dalam berbagai jenis lapisan tanah dan periode dominannya (Nakamura *et al.*, 2000).

6. *Site effect*

Site effect sangat berperan penting dalam karakterisasi getaran seismik sebelum mencapai permukaan tanah karena setiap tempat akan memberikan respon yang berbeda. *Site effect* adalah kondisi geologi permukaan yang

berpengaruh terhadap gerakan tanah yang terjadi akibat gempabumi. Karakteristik dari *site* mempengaruhi besarnya frekuensi dan periode getaran tanah akibat gempabumi. Secara umum, struktur batuan menghasilkan tipe getaran periode pendek (frekuensi tinggi), sedangkan tanah lunak menghasilkan periode yang lebih panjang (frekuensi rendah) (Elnashai dan Sarno, 2008). Tanah lunak dengan frekuensi getaran tanah rendah akan menambah efek kerusakan yang ditimbulkan. Gelombang seismik pada saat menjalar, terjebak dalam lapisan tanah lunak dan fenomena multi refleksi terjadi, menghasilkan getaran tanah dengan periode yang dinamakan periode dominan tanah (Nakamura, 1989). Kanai melakukan klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai periode dominan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Perhitungan *site effect* digunakan untuk mengetahui nilai periode dominan tanah di titik penelitian. Metode yang sering digunakan dalam studi *site effect* adalah metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Periode dominan ditulis dengan persamaan :

$$T_g = \frac{1}{f_0} \quad (26)$$

dengan T_g adalah periode dominan (s) dan f_0 adalah frekuensi dominan (Hz). Data mentah berupa sinyal seismik dalam domain waktu yang dihasilkan melalui pengukuran mikrotremor akan diubah menjadi sinyal dalam domain frekuensi, kemudian dilakukan penghalusan (*smoothing*) sinyal. Sinyal yang dihasilkan adalah sinyal yang dianggap memenuhi syarat untuk dilakukan perhitungan menggunakan metode HVSR.

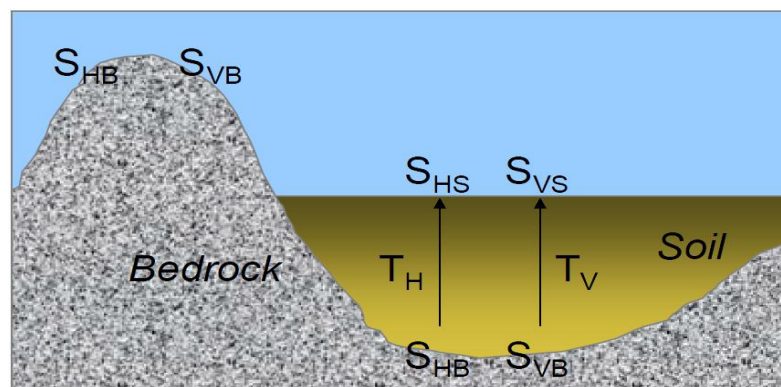
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Periode Predominan Mikrotremor Menurut Kanai (Arifin *et al.*, 2013)

Klasifikasi Tanah	Keterangan	Periode dominan (sekon)
Jenis I	Jenis tanah terdiri dari batuan keras (<i>rock</i>), pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>), dan tanah yang tergolong dalam tanah tersier atau lapisan tanah tua.	0,05 – 0,15
Jenis II	Jenis tanah yang terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>sandy hard clay</i>), dan tanah yang tergolong pada aluvium dengan ketebalan 5 meter atau lebih.	0,15 – 0,25
Jenis III	Jenis tanah yang terdiri dari pasir, tanah liat berpasir, tanah liat, dan tanah yang tergolong pada jenis alluvium yang hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui.	0,25 – 0,40
Jenis IV	Jenis tanah yang terdiri dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, dan tanah yang tergolong pada jenis tanah lembek dengan kedalaman 30 meter.	> 0,40

7. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Data mikrotremor yang telah direkam, kemudian dianalisis menggunakan metode HVSr sehingga menghasilkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Metode HVSr pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi pada tahun 1971 yang menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horizontal dan komponen vertikal terhadap kurva eliptisitas pada gelombang Rayleigh yang kemudian disempurnakan oleh Nakamura (1989). Nakamura mengusulkan sebuah hipotesa bahwa getaran mikrotremor pada suatu lokasi dapat ditentukan dengan menghitung rasio spektral antara komponen horizontal terhadap komponen vertikal yang diamati pada titik lokasi yang sama.

HVSR adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bisa dipahami pada titik yang diobservasi jika pengamatan bentuk gelombang *seismic tremor* dilakukan pada tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Nakamura, 1989). Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh dan *site effect*, yang terjadi akibat keberadaan permukaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini ada empat komponen gerakan tanah yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Lermo *et al.*, 1993). Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000). Asumsi yang digunakan dalam metode Nakamura ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Slob, 2007).

Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (27)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode HVSR adalah sebagai berikut (Bour *et al*, 1998) :

1. Data mikrotremor terdiri atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar.
2. Efek dari gelombang Rayleigh terdapat pada spektrum komponen vertikal pada lapisan sedimen (S_{VS}), tetapi tidak terdapat pada spektrum komponen vertikal di lapisan batuan dasar (S_{VB}).
3. Komponen vertikal mikrotremor tidak teramplifikasi oleh lapisan sedimen, sehingga besar dari efek gelombang Rayleigh pada komponen vertikal mikrotremor:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (28)$$

4. Efek gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor digunakan untuk komponen vertikal dan horizontal pada rentang frekuensi (0,2 – 20,0 Hz), sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (29)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (T_{SITE}). T_{SITE} pada lapisan sedimen permukaan ditentukan dengan cara membandingkan spektrum T_H dengan spektrum T_V . T_{SITE} menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi (Slob, 2007). Berdasarkan persamaan (27), (28), dan (29) didapatkan besarnya T_{SITE} sebagai:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (30)$$

dimana spektrum dari komponen gerak horizontal (S_{HS}) memiliki dua arah yaitu *North-South* dan *East-West*, sehingga dicari resultan komponen horizontal tersebut dengan persamaan

$$\sqrt{(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2} \quad (31)$$

sehingga

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}}{S_{VS}} \quad (32)$$

Persamaan (32) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

8. Transformasi Fourier, DFT, dan FFT

a. Transformasi Fourier

Dalam survei mikrotremor, Transformasi Fourier digunakan untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier dikembangkan oleh Jean Baptise Joseph Fourier. Transformasi Fourier mendekomposisi sinyal ke dalam jumlahan tak hingga dari bentuk sinusoidal dengan frekuensi dan nilai fase tertentu. Transformasi Fourier dalam kasus *continous-time* dan *continous-frequency* ditunjukkan pada persamaan (33). $X^F(\omega)$ adalah hasil Transformasi Fourier, ω adalah frekuensi angular (radian per detik), dan $x(t)$ merupakan sinyal dengan waktu yang kontinu (Park, 2010).

$$X^F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (33)$$

Persamaan (33) akan memiliki nilai apabila terpenuhinya syarat :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (34)$$

Untuk mendapatkan kembali sinyal berdomain waktu, perlu dilakukan inversi pada Transformasi Fourier seperti ditunjukkan persamaan (35).

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X^F(\omega)e^{+j\omega t} d\omega \quad (35)$$

b. Discrete Fourier Transform (DFT)

Transformasi Fourier pada kasus waktu dan frekuensi yang kontinyu pada persamaan (35) menggunakan operasi integral yang tidak dapat dipraktikkan

dalam perhitungan menggunakan komputer. Untuk itu perlu dikembangkan sebuah Transformasi Fourier dalam kasus waktu yang diskrit. Dengan mengkonversi operasi integral ke operasi jumlahan seperti pada persamaan (36) dan ω menjadi θn seperti pada persamaan (37) akan dihasilkan *Discrete-Time Fourier Transform* (DTFT) yang diberikan pada persamaan (38).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \rightarrow \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \quad (36)$$

$$e^{-j\omega} \rightarrow e^{-j\theta n} \quad (37)$$

$$X^f = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x[n]e^{-j\theta n} \quad (38)$$

Dalam algoritma DTFT, θ adalah frekuensi digital dengan satuan radian per sampel. Dengan kata lain algoritma DTFT belum bersifat diskrit pada domain frekuensi. Perlu adanya *sampling* pada domain frekuensi seperti pada domain waktu yang bersifat diskrit. Sampel tersebut berada pada rentang 0 hingga 2π yang ekuivalen dengan 0 sampai f_s Hz. *Sampling* dilakukan dengan membagi rentang ini sedemikian rupa sehingga didapatkan data slot frekuensi berjumlah N dengan jarak yang sama. Jika N adalah panjang data sinyal yang akan dikenakan Transformasi Fourier, maka :

$$unit \text{ frekuensi} = \frac{2\pi}{N} \quad (39)$$

Pada *sampling* domain waktu, T (dalam sekon) mewakili interval *sampling* antar sampel. Pada frekuensi *sampling* terdapat $2\pi/N$ yang mewakili interval frekuensi *sampling* (dalam satuan frekuensi). Frekuensi digital (θ) yang

telah dilakukan *sampling* dapat diwakilkan oleh $\theta[k]$, dengan k adalah bilangan bulat yang merupakan indeks frekuensi. Persamaan (40) mendefinisikan nilai $\theta[k]$ untuk Transformasi Fourier dengan panjang data N .

$$\theta[k] = \frac{2\pi k}{N} \quad (40)$$

dengan mengganti θ pada persamaan (38) dengan $\theta[k]$ pada persamaan (35) akan didapatkan persamaan yang dikenal dengan algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT) dengan indeks frekuensi diskrit k , sinyal input $x[n]$ dengan indeks waktu diskrit n , dan panjang data N (Park, 2010).

$$X[k] = \sum_{n=0}^{n=N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (41)$$

atau lebih sering ditulis

$$X[k] = \sum_{n=0}^{n=N-1} x[n] W_N^{kn} \quad (42)$$

dengan

$$W_N^{kn} = e^{-j \frac{2\pi}{N}} \quad (43)$$

c. *Fast Fourier Transform* (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode DFT yang lebih efisien dalam perhitungan secara komputasi. Berawal dari DFT N data pada persamaan (42) yang dapat dijabarkan sebagai (Proakis dan Manolakis, 1996) :

$$X^d[k] = x[0] + x[1]W_N^{k(1)} + x[2]W_N^{k(2)} + \dots + x[N-1]W_N^{k(N-1)} \quad (44)$$

bila $x(n)$ dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil, persamaan (44) dapat diubah menjadi persamaan (45).

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_N^{(2n+1)k} \quad (45)$$

Persamaan (45) dapat juga ditulis

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_N^{2nk} \quad (46)$$

Karena $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, persamaan (46) dapat diubah menjadi

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (47)$$

dengan $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$. Persamaan (47) dapat pula ditulis sebagai fungsi baru sebagai :

$$X[n] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (48)$$

dengan $G[k]$ dan $H[k]$ didefinisikan pada persamaan (49) dan (50).

$$G[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (49)$$

$$H[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (50)$$

Karena $G[k]$ dan $H[k]$ periodik dengan periode $N/2$ maka diperoleh $G\left[k + \frac{N}{2}\right] = G[k]$ dan $H[k] = H\left[k + \frac{N}{2}\right] = H[k]$, dan karena $W_N^{k+\frac{N}{2}} = -W_N^k$ maka didapatkan persamaan (51).

$$X\left[n + \frac{N}{2}\right] = G[k] - W_N^k H(k) \quad (51)$$

Persamaan (48) dan (51) dikenal dengan FFT *radix-2 Decimation In Time* (DIT), dengan data dipilah menjadi dua bagian menjadi bagian genap dan bagian ganjil. FFT *radix-2* juga dapat didekati dengan pendekatan matrik. Persamaan (52) merupakan susunan matrik DFT untuk $N = 8$ (Van Loan, 1992).

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^4 & W_8^5 & W_8^6 & W_8^7 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^8 & W_8^{10} & W_8^{12} & W_8^{14} \\ 1 & W_8^3 & W_8^6 & W_8^9 & W_8^{12} & W_8^{15} & W_8^{18} & W_8^{21} \\ 1 & W_8^4 & W_8^8 & W_8^{12} & W_8^{16} & W_8^{20} & W_8^{24} & W_8^{28} \\ 1 & W_8^5 & W_8^{10} & W_8^{15} & W_8^{20} & W_8^{25} & W_8^{30} & W_8^{35} \\ 1 & W_8^6 & W_8^{12} & W_8^{18} & W_8^{24} & W_8^{30} & W_8^{36} & W_8^{42} \\ 1 & W_8^7 & W_8^{14} & W_8^{21} & W_8^{28} & W_8^{35} & W_8^{42} & W_8^{49} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (52)$$

9. Penghalusan data

Penghalusan data atau *smoothing* adalah suatu proses untuk menghaluskan pola data sehingga hasil *smoothing* tidak akan memiliki hasil jauh berbeda dengan pola data awal (sebelum *dismoothing*). Penghalusan data yang dipakai dikembangkan oleh Konno-Ohmachi (1998). Penghalusan data ini dilakukan sebelum perhitungan nilai H/V dan didasarkan persamaan Konno-Ohmachi (Konno dan Ohmachi, 1998):

$$W(\omega; \omega_0) = \left(\frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)}{\left(\log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^b\right)} \right)^4 \quad (53)$$

dengan ω adalah frekuensi, ω_0 adalah frekuensi pusat dilakukannya penghalusan data, dan b adalah koefisien *bandwidth*, yaitu faktor penambahan yang mengontrol pengalusan data. Nilai b yang kecil akan menghasilkan penghalusan data yang signifikan, sedangkan nilai b yang besar akan menghasilkan penghalusan data yang lebih rendah. Nilai b yang direkomendasikan adalah 40 (Konno dan Ohmachi, 1998).

10. Percepatan Getaran Tanah Maksimum

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah adalah percepatan gelombang sampai ke permukaan bumi dengan satuan cm per sekon kuadrat. Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempabumi. Percepatan getaran tanah merupakan parameter yang perlu dikaji dan dipetakan untuk setiap kejadian gempabumi, kemudian dipilih percepatan getaran tanah maksimum untuk mengetahui efek paling parah yang pernah dialami suatu daerah yang diakibatkan oleh gempabumi. Percepatan getaran tanah maksimum di suatu daerah bergantung pada intensitas gempabumi dan karakteristik lapisan permukaan tanah (*ground surface*) di daerah tersebut, sehingga pemahaman terhadap karakteristik dinamik lapisan permukaan tanah menjadi hal yang sangat penting dalam analisis bahaya gempabumi.

Karakteristik dinamik lapisan permukaan tanah suatu daerah dapat ditentukan dengan menggunakan nilai periode dominan tanah (*predominant*

period), dikarenakan karakteristik lapisan permukaan tanah mempengaruhi nilai periode dominan tanah. Karakteristik lapisan permukaan tanah tersebut akan mempengaruhi percepatan getaran tanah maksimum.

Percepatan getaran tanah dapat diukur secara langsung menggunakan *accelerograph* yang dipasang pada suatu tempat maupun secara tidak langsung menggunakan pendekatan empiris dengan input parameter hasil analisis mikrotremor. Metode Kanai (1966) merupakan salah satu metode pendekatan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Metode ini memperhitungkan parameter masukan gempabumi seperti episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai (1966) diberikan oleh persamaan:

$$\alpha = \frac{a_1}{\sqrt{T_G}} 10^{a_2 M - P \log R + Q} \quad (54)$$

$$P = a_3 + a_4/R \quad (55)$$

$$Q = a_5 + a_6/R \quad (56)$$

dimana α adalah nilai percepatan getaran tanah (cm/s^2), M adalah magnitudo gempabumi dalam skala Richter, R adalah jarak hiposenter (km), T_G adalah periode dominan tanah (sekon), dan dengan konstanta-konstanta $a_1 = 5$, $a_2 = 0,61$, $a_3 = 1,66$, $a_4 = 3,60$, $a_5 = 0,167$, $a_6 = -1,83$ (Douglas, 2004).

Semakin besar nilai percepatan getaran tanah yang pernah terjadi di suatu tempat, maka semakin besar bahaya dan resiko gempabumi yang mungkin terjadi. Efek primer gempabumi adalah kerusakan struktur bangunan baik yang berupa

gedung, perumahan, gedung bertingkat, fasilitas umum, jembatan dan infrastruktur lainnya, yang diakibatkan oleh getaran yang ditimbulkannya. Secara garis besar, tingkat kerusakan yang mungkin terjadi tergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan, dan percepatan tanah di lokasi bangunan akibat getaran gempabumi.

11. Intensitas Gempa

Intensitas gempa merupakan parameter yang menunjukkan tingkat goncangan gempabumi. Intensitas ditentukan oleh efek yang ditimbulkan oleh gempabumi tersebut, sebagai contoh kerusakan struktur bangunan dan lingkungan pada daerah yang rusak akibat gempabumi. Besarnya nilai intensitas tidak hanya bergantung pada magnitudo gempabumi tetapi juga dipengaruhi oleh jarak daerah tersebut ke sumber gempa, kedalaman sumber gempa, lamanya durasi gempa, dan kondisi geologi setempat. Dengan kata lain, magnitudo menggambarkan kekuatan atau energi yang dilepaskan sebuah gempa, sedangkan intensitas menggambarkan kerusakan yang diakibatkan oleh gempa tersebut (Lian, 2014). Intensitas tinggi biasanya terjadi pada daerah yang dekat sumber gempa dibandingkan tempat yang jauh dari sumber gempa. Intensitas terkuat terjadi di daerah episenter.

Intensitas gempabumi dinyatakan dalam bentuk skala Mercally yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala ini diusulkan oleh G. Mercally pada tahun 1902 yang berisi 12 tingkatan dari akibat yang ditimbulkan gempabumi, dimulai dari yang lemah sampai yang kuat (Tabel 2). Terdapat

hubungan secara empiris dari nilai percepatan tanah maksimum dengan skala intensitas dalam MMI. Perhitungan ini tertulis dalam Rifunac dan Brady pada tahun 1975 dan direvisi oleh Wald (1999) yang dirumuskan dengan:

$$IMM = 3,66 \log \alpha - 1,66 \quad (57)$$

dengan IMM adalah intensitas gempa menurut skala MMI dan α menyatakan percepatan tanah maksimum (cm/s²). Berdasarkan skala intensitas gempabumi, dapat diketahui juga besarnya tingkat resiko rawan bencana gempabumi di suatu daerah.

Tabel 2. Intensitas gempabumi skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (Wald, 1999; Lowrie, 2007).

Skala MMI	PGA (cm/s ²)	Efek yang dirasakan
I	< 1,7	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
II	1,7 – 14	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang tinggal diam, lebih-lebih di rumah tingkat atas. Benda-benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
III	1,7 – 14	Getaran dirasakan di rumah tingkat atas. Terasa getaran seakan ada truk lewat, lamanya getaran dapat ditentukan.
IV	14 – 39	Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, kendaraan yang sedang berhenti bergerak dengan jelas. Pada malam hari orang terbangun, piring dan gelas dapat pecah, jendela dan pintu berbunyi.
V	39 – 92	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon tinggi tampak bergoyang.
VI	92 – 180	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, kebanyakan terkejut dan lari ke luar, kadang-kadang meja kursi bergerak, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.
VII	180 – 340	Semua orang ke luar rumah, kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik. Cerobong asap pecah atau retak-retak. Guncangan terasa oleh orang yang naik kendaraan.
VIII	340 – 650	Kerusakan ringan pada bangunan-bangunan dengan

		konstruksi yang kuat. Retak-retak pada bangunan yang kuat. Banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Dinding dapat lepas dari kerangka rumah, cerobong asap pabrik-pabrik dan monumen-monumen. Meja kursi terlempar, air menjadi keruh, orang naik sepeda motor terasa terganggu.
IX	650 – 1240	Kerusakan pada bangunan yang kuat, rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak lubang-lubang karena retak-retak pada bangunan yang kuat. Rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipa-pipa dalam tanah putus.
X	> 1240	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka-rangka rumah lepas dari pondasinya, tanah longsor di sekitar sungai dan tempat-tempat yang curam saat terjadi air bah.
XI	> 1240	Bangunan-bangunan kayu sedikit yang tetap berdiri, jembatan rusak. Pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah, rel melengkung sekali.
XII	> 1240	Hancur sama sekali. Gelombang tampak pada permukaan tanah, pemandangan menjadi gelap, benda-benda terlempar ke udara.

12. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

a. Kondisi geografis

Lokasi penelitian berada di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul.

1. Kabupaten Sleman

Wilayah Kabupaten Sleman secara geografis menurut Peta Rupa Bumi Indonesia terletak antara 9166223 – 9133735 mU dan 449941 – 413523 mT. Kabupaten Sleman merupakan salah satu dari 5 Kabupaten/Kota di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), dengan luas wilayah 57.482 ha atau 574,82 km² atau sekitar 18% dari luas Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang seluas 3.185,80 km², dengan jarak terjauh Utara – Selatan 32 km, Timur – Barat 35 km. Kabupaten Sleman secara administratif terdiri atas 17 kecamatan, 86 desa, dan 1.212 dusun. Wilayah Kabupaten Sleman terletak di bagian utara dari Propinsi

Daerah Istimewa Yogyakarta, dimana sebelah utara Kabupaten Sleman berbatasan dengan Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah, sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Klaten, Propinsi Jawa Tengah, sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Kulon Progo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Kabupaten Magelang, Propinsi Jawa Tengah dan sebelah selatan berbatasan dengan Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Berdasarkan satuan formasi, litologi Kabupaten Sleman tersusun atas endapan longsor dari awan panas, endapan gunungapi Merapi muda, endapan gunungapi Merapi tua, Formasi Sentolo, Formasi Nglanggran, Formasi Semilir, Formasi Kebobutak, Formasi andesit tua, Formasi Nanggulan, andesit, mikrodorit (PemKab Sleman, 2017).

2. Kabupaten Bantul

Secara geografis menurut Peta Rupa Bumi Indonesia Kabupaten Bantul terletak antara 9112311 – 9139351 mU dan 443928 – 414137 mT. Luas wilayah Kabupaten Bantul adalah 508,85 km² (15,90% dari Luas wilayah Propinsi DIY). Kabupaten Bantul secara administratif terbagi menjadi 17 kecamatan, 75 desa, dan 933 dusun. Wilayah Kabupaten Bantul terletak di bagian selatan dari Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang sebelah utara berbatasan dengan Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman, sebelah timur dengan Kabupaten Gunungkidul, sebelah selatan dengan Samudra Hindia, dan sebelah barat dengan Kabupaten Kulonprogo.

Jenis batuan yang terdapat di Kabupaten Bantul secara umum terdiri dari tiga jenis batuan yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan endapan. Berdasarkan sifat-sifat batuannya dapat diperinci menjadi tujuh formasi yaitu Formasi Yogyakarta (46%), Formasi Sentolo (18%), Formasi Sambipitu (3%), Formasi Semilir Nglanggran (24%), Formasi Wonosari (8%), dan gumuk pasir (1%). (PemKab Bantul, 2017).

b. Stratigrafi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian tersusun atas empat formasi, yaitu Formasi Nglanggran, Formasi Semilir, dan Formasi Wonosari, serta terdiri dari dua endapan, yaitu Alluvium dan Gunungapi Merapi muda.

1. Formasi Nglanggran

Formasi Nglanggran tersusun oleh breksi gunungapi dengan fragmen andesit, breksi aliran, aglomerat, lava dan tuf (Raharjo, *et al.*, 1995). Menurut Toha *et al.* (1996), di beberapa tempat formasi ini terlihat sebagai perkembangan dari tubuh batuan beku andesit basal yang berubah secara berangsur-angsur menjadi batuan beku terkekarkan berstruktur bantal, breksi autoklastik, hialoklastik dan akhirnya menjadi breksi andesit. Formasi ini berumur Miosen tengah dan bawah. Formasi Nglanggran yang pada awalnya merupakan satu satuan yang terdiri dari breksi, dapat dipisahkan menjadi 2 satuan yang berbeda serta mempunyai proses mekanisme pengendapan yang berbeda, yaitu satuan breksi Formasi Nglanggran dengan karakteristik terdapat batupasir sebagai sisipan dan satuan breksi andesit dengan lava sebagai sisipan (Febbyanto, 2012).

2. Formasi Semilir

Formasi Semilir terdiri dari perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan (Raharjo, *et al.*, 1995). Formasi Semilir tersingkap luas di sepanjang Pegunungan Selatan, Pantai Selatan Jawa bagian tengah. Formasi, yang memainkan peran penting dalam stratigrafi dan magmatisme di daerah tersebut, dialasi secara selaras oleh Formasi Kebobutak dan bagian atasnya ditindih oleh Formasi Nglanggran (IAGI, 2013).

3. Formasi Wonosari

Formasi Wonosari tersingkap baik di daerah Wonosari dan sekitarnya, membentuk morfologi karst, terdiri dari batugamping terumbu, batugamping bioklastik berlapis dan napal. Satuan batuan ini merupakan endapan karbonat paparan (*carbonate platform*) pada Miosen tengah hingga Miosen akhir (Karlina, 2013).

4. Endapan Alluvium

Endapan alluvium terdiri dari kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai (Raharjo, *et al.*, 1995). Alluvium sungai berdampingan dengan alluvium rombakan bahan vulkanik.

5. Endapan Gunungapi Merapi Muda

Endapan Gunungapi Merapi muda merupakan hasil rombakan dari gunungapi yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.

B. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian di kawasan jalur Sesar Opak merupakan data mentah berupa data mikrotremor. Dipilih data mikrotremor yang tidak mengandung *noise* dengan *software* *Sesarray-Geopsy*. Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan *cut* gelombang. Kemudian sinyal akan diolah menggunakan program MATLAB R2008a, lalu dilakukan proses *smoothing* data. Data yang sudah di-*smoothing*, dianalisis dengan metode HVSR. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi.

Dalam menentukan nilai percepatan getaran tanah digunakan metode Kanai (1966) dengan menggunakan persamaan (54) untuk *event* gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 yang berkekuatan 5,9 skala Richter. Pada metode Kanai (1966) perlu ditentukan episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Untuk mikrozonasi berdasarkan nilai percepatan getaran tanah maksimum digunakan program Surfer 12.

Berdasarkan hasil analisis percepatan getaran tanah maksimum tersebut dapat diketahui nilai intensitas gempa dalam skala MMI dengan menggunakan persamaan (57). Setelah itu nilai PGA dan intensitas dipetakan dengan peta kerusakan dan kondisi geologi setempat.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data mikrotremor dilaksanakan pada tanggal 22 - 26 Januari 2016 dari pukul 07.00 sampai dengan 18.00 WIB. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur dan survei di lokasi penelitian yang dimulai pada bulan Oktober 2015. Pengambilan data primer secara langsung dilakukan di sepanjang jalur Sesar Opak dari Kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul sampai dengan Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman sebanyak 39 titik lokasi. Data sekunder berupa data mikrotremor dari penelitian sebelumnya sebanyak 47 titik lokasi di sekitar Kecamatan Jetis, Kecamatan Pundong, Kecamatan Kretek, dan Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul. Data sekunder diperoleh dari BMKG Yogyakarta. Lokasi penelitian terletak pada koordinat geografis 423986 - 448441 mT dan 9122313 - 9142269 mU.

B. Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak.

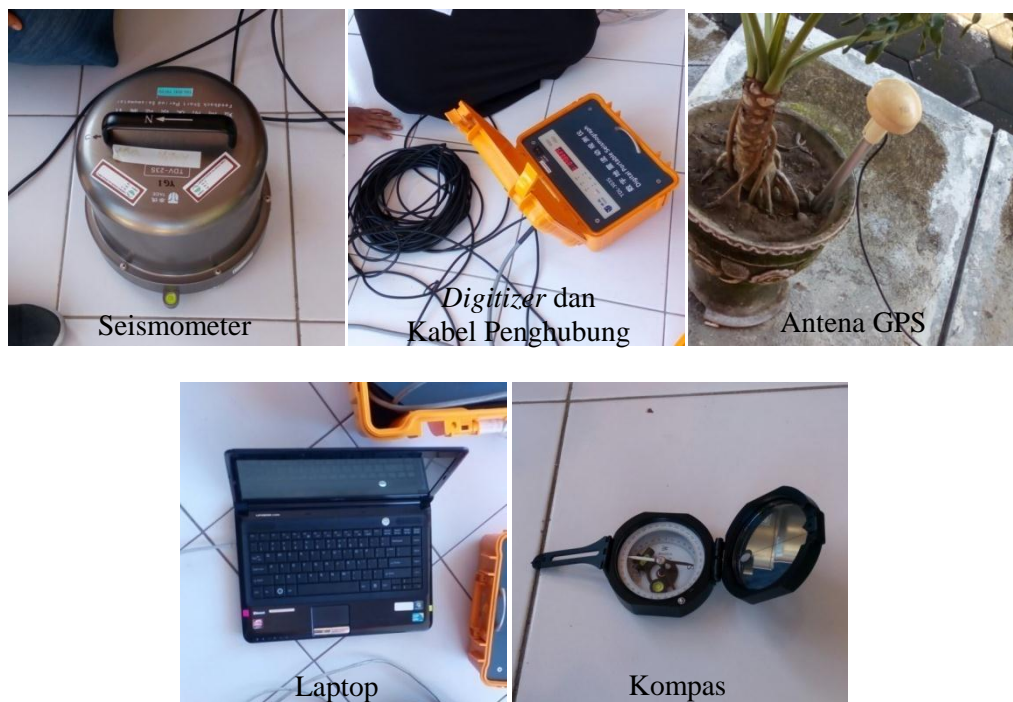
1. Perangkat Keras (*Hardware*)

- a. Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S untuk merekam sinyal getaran tanah pada setiap titik penelitian yang dilengkapi *sensor, seismic data digitizer and recorder*, kabel penghubung *Digital Portable*

Seismograph dengan seismometer, dan antena GPS yang berfungsi menerima data lokasi dan waktu dari satelit.

- b. Seismometer tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin sebagai pemandu dalam menemukan lokasi titik penelitian.
- d. Kompas yang digunakan untuk menentukan arah seismometer pada saat pengambilan data.
- e. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis sinyal mikrotremor.
- f. Lembar *check list* survey mikrotremor.

Peralatan pengukuran mikrotremor ditunjukkan pada Gambar 14.



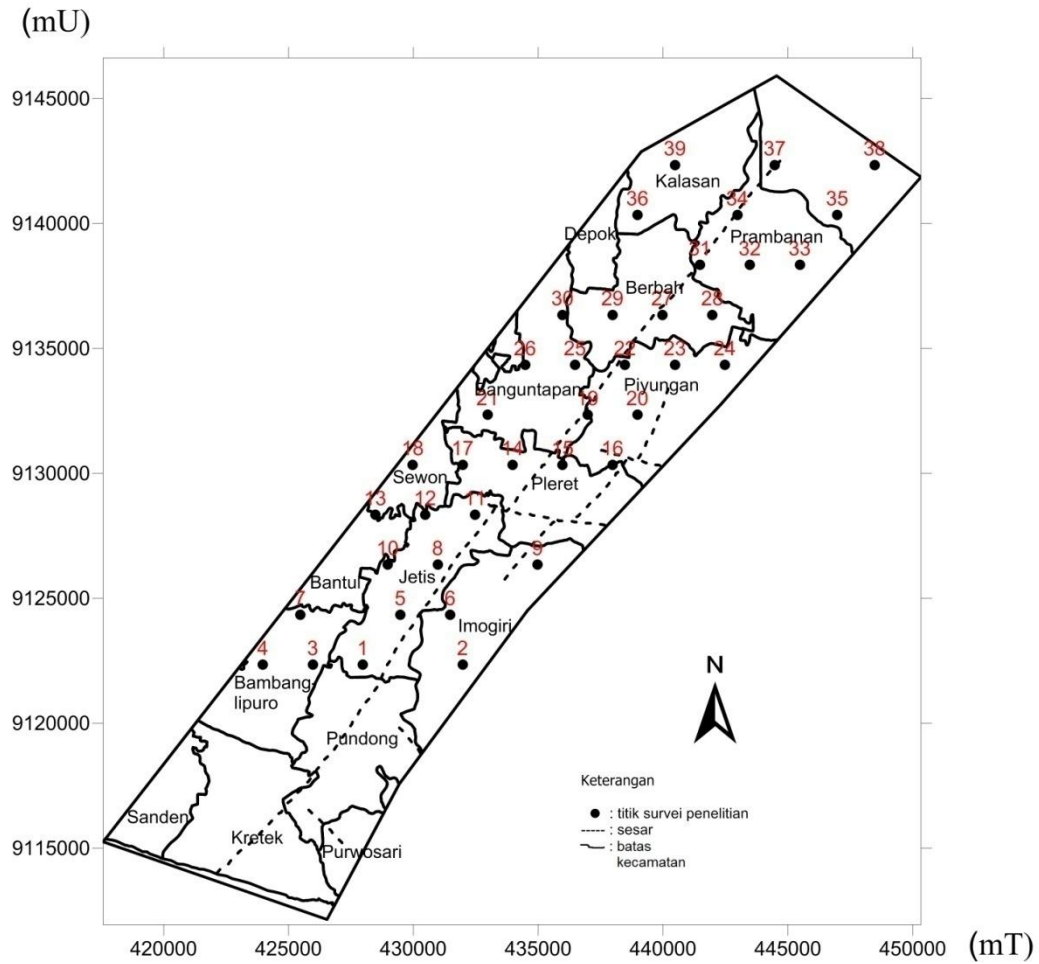
Gambar 14. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. *Global Mapper 13* untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke perangkat GPS.
- b. *Google Earth* untuk mengetahui kondisi alam dan lokasi titik penelitian.
- c. *Sesarray-Geopsy* untuk pemilihan (*cutting*) sinyal.
- d. *MATLAB R2008a* untuk menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).
- e. *Surfer 12* untuk mengolah hasil dalam bentuk zonasi.
- f. *Microsoft Word 2007* untuk menyusun draft skripsi.
- g. *Microsoft Excel 2007* untuk mengolah data.

C. Teknik Pengambilan Data

Tahapan yang dilakukan sebelum pengambilan data mikrotremor adalah menentukan lokasi pengambilan data dengan membuat desain survei. Lokasi titik pengambilan data mikrotremor berada di sekitar Sesar Opak dari Kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul sampai dengan Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman. Interval antar titik sebesar 2 km di sepanjang jalur Sesar Opak yang dilakukan dengan menggunakan metode *grid* sehingga diperoleh titik data penelitian pra lapangan sebanyak 39 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Peta lokasi desain survei pra lapangan

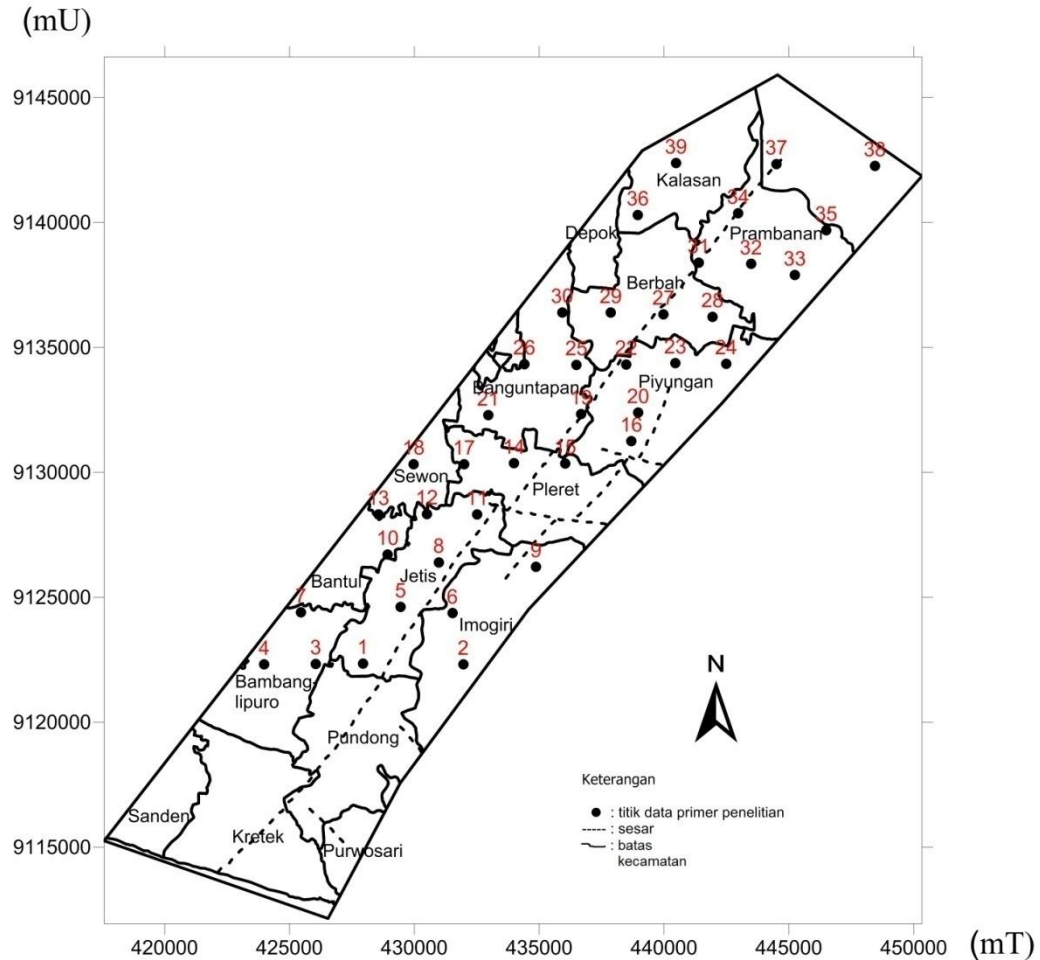
Setelah membuat desain survei, tahap berikutnya dilakukan survei lokasi ke setiap titik data mikrotremor. Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui medan yang harus dilalui pada saat pengambilan data dan keadaan di sekitar titik data penelitian supaya tidak memerlukan tambahan waktu sehingga dapat mempermudah saat proses pengambilan data. Pemilihan lokasi dan penentuan titik data mikrotremor dilakukan sesuai dengan persyaratan pengukuran yang mengacu kepada standar aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* yang ditunjukkan pada Tabel 3. Terdapat beberapa titik yang mengalami pergeseran dari titik yang telah ditentukan ketika survei lapangan, ini dikarenakan

kondisi lapangan tidak memungkinkan untuk dilalui seperti titik data penelitian yang berada di tengah sungai, di atas bukit terjal dan di dalam jurang.

Tabel 3. Syarat Pengukuran Mikrotremor (SESAME, 2004)

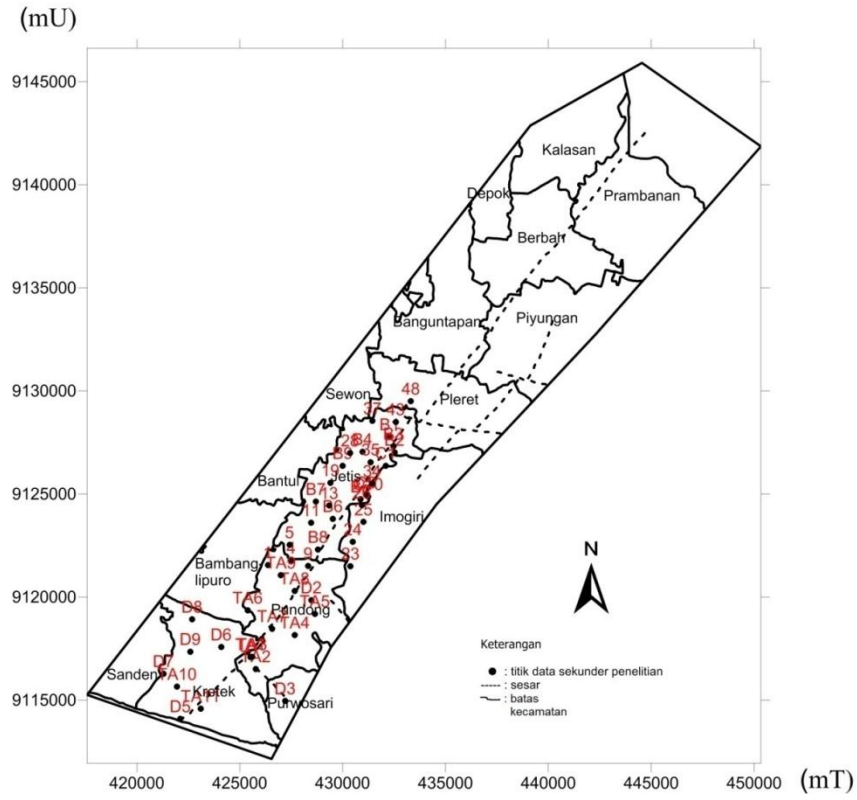
Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
	<i>f_g</i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ul style="list-style-type: none"> Atur sensor langsung pada permukaan tanah Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau <i>artificial</i>	<ul style="list-style-type: none"> Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. Pada kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. 	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ul style="list-style-type: none"> Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong. 	
Kondisi Cuaca	<ul style="list-style-type: none"> Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ul style="list-style-type: none"> Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

Peta lokasi penelitian setelah mengalami pergeseran (*offside*) pada titik data penelitian ditunjukkan pada Gambar 16.

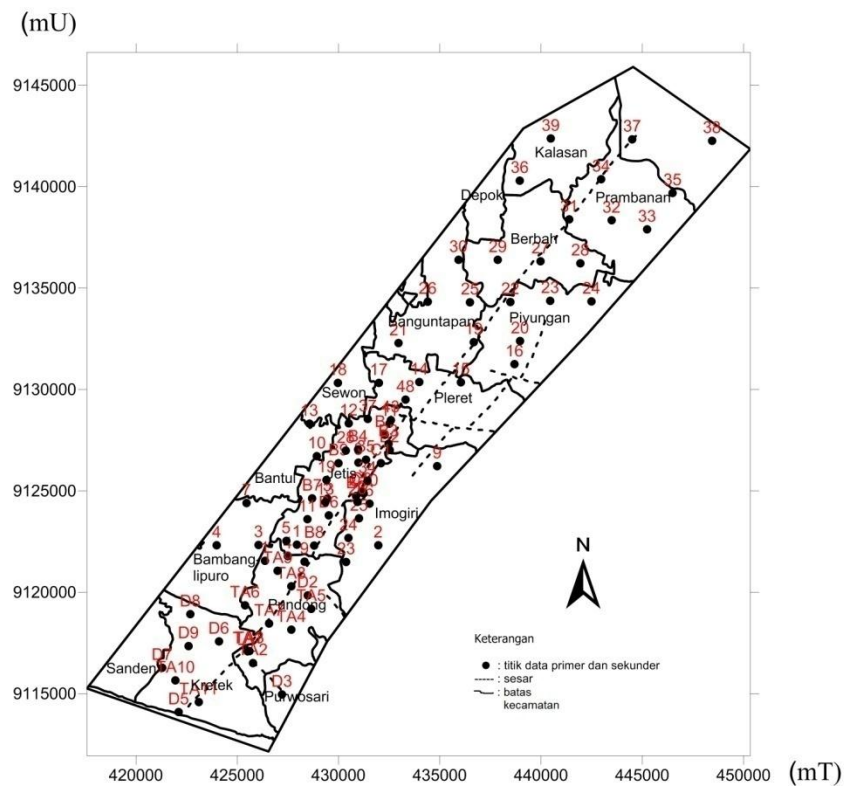


Gambar 16. Peta lokasi 39 titik data primer penelitian.

Gambar 16 menunjukkan 39 titik data primer penelitian mikrotremor yang diukur secara langsung di lapangan. Data sekunder berupa data mikrotremor dari penelitian sebelumnya sebanyak 47 titik sehingga jumlah titik data penelitian seluruhnya adalah 86 titik di sepanjang jalur Sesar Opak. Peta lokasi untuk 47 titik data sekunder ditunjukkan pada Gambar 17 serta peta gabungan data primer dan data sekunder ditunjukkan pada Gambar 18.

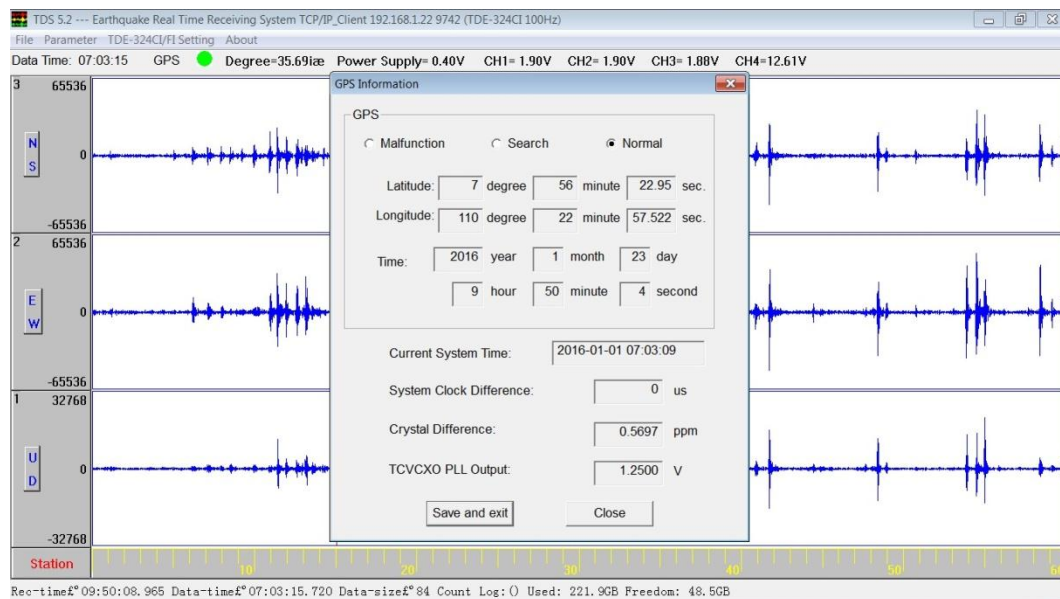


Gambar 17. Peta lokasi 47 titik data sekunder penelitian.



Gambar 18. Peta lokasi data primer dan sekunder.

Pengambilan data mikrotremor setiap titik penelitian dilakukan selama 30 menit dengan frekuensi *sampling* 100 Hz. Hasil pengukuran yang diperoleh tersimpan ke dalam *digitizer* secara otomatis yang terhubung ke laptop. Pemindahan data dari *digitizer* ke laptop dilakukan dengan cara *download* dalam bentuk data numerik. Salah satu titik data yang terekam ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Data yang terekam saat pengambilan data di titik 2.

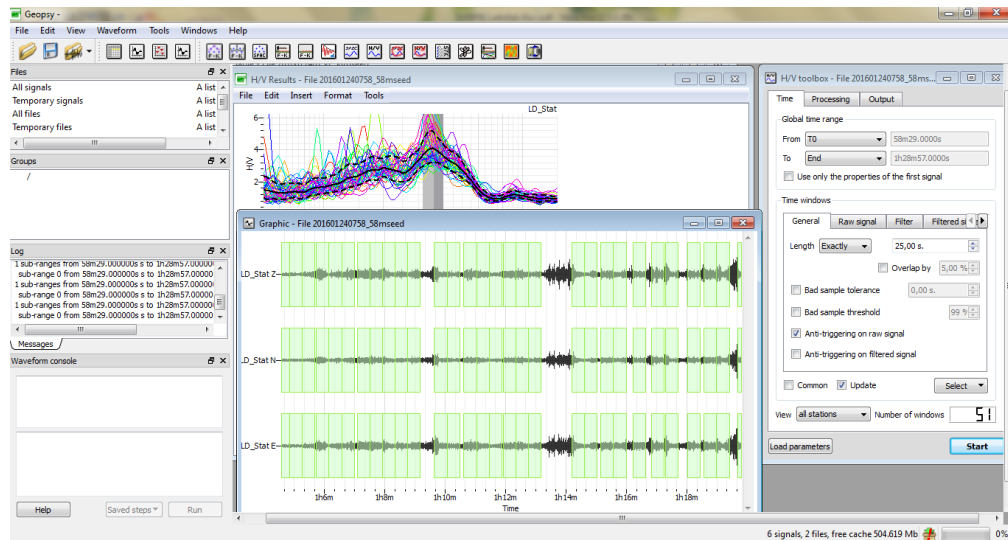
D. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data pada penelitian ini adalah:

1. Memilih sinyal tanpa *noise* dengan perangkat lunak Sesarray-Geopsy.

Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan *software* Sesarray-Geopsy. Dipilih data mikrotremor yang tidak mengandung *noise* dengan panjang data 25 detik atau 2500 data tiap *window* karena setiap 1 detik

mempunyai 100 data dan dilakukan pemilihan data dengan jumlah minimal 10 *window* pada setiap titik penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20.

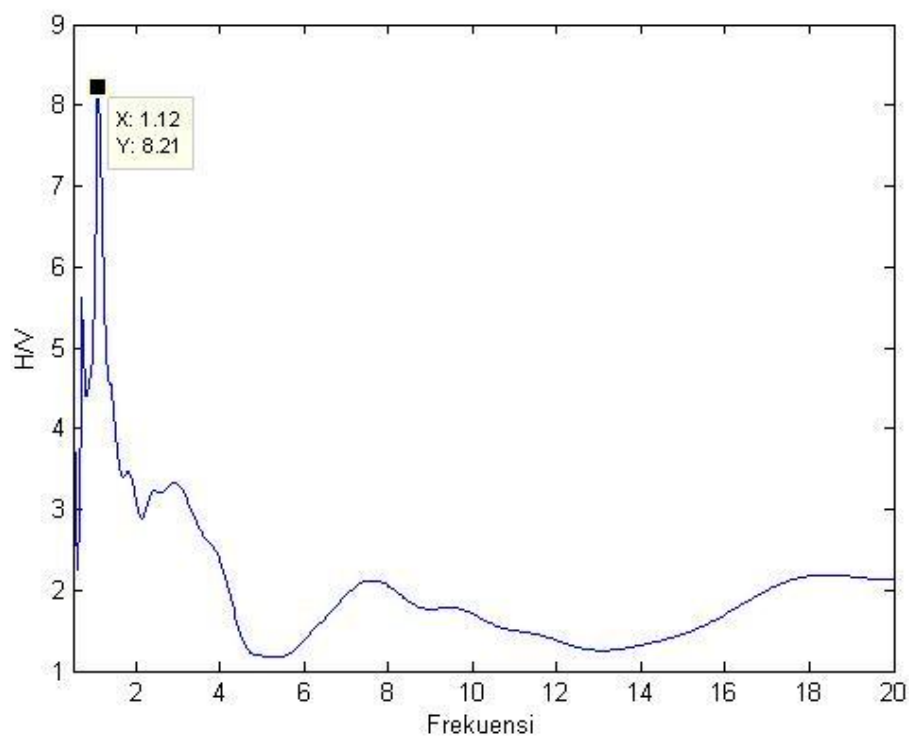


Gambar 20. Proses pemilihan sinyal (*windowing*) pada titik 13.

2. Menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan *cut* gelombang. Hasil *export cut* gelombang dengan format text (.txt) digabungkan dalam satu *file* menjadi format Excel Workbook (.xls) menggunakan Command Prompt. Data kemudian dianalisis menggunakan program MATLAB R2008a. Data mikrotremor hasil pengukuran merupakan data mentah berupa sinyal getaran tanah berdomain waktu. Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor yaitu komponen horizontal *North-South* (NS), komponen horizontal *East-West* (EW), dan yang terakhir komponen Vertikal (V). Tiap-tiap komponen tersebut dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Pada setiap komponen, paling sedikit dipilih 10 *window* yang masing-masing minimal berdurasi 10 detik. Hasil analisis menggunakan algoritma FFT berupa spektrum dari tiap-tiap

komponen data mikrotremor tersebut, dan selanjutnya dilakukan *smoothing* data terhadap masing-masing komponen. *Smoothing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *smoothing* Konno-Ohmachi. Data yang sudah di-*smoothing*, dianalisis dengan metode HVSR. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A) seperti terlihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Kurva HVSR pada titik 11.

Kurva HVSR harus memiliki kriteria reliabilitas yang mengacu pada standar yang dibuat oleh *SESAME European Research Project*. Terdapat tiga kriteria reliabilitas kurva HVSR. Pertama, nilai frekuensi *peak* kurva HVSR (f_0) harus lebih besar dari 10 dibagi panjang window (l_w) atau dapat dituliskan

$f_0 > 10/l_w$. Kedua, jumlah siklus yang signifikan n_c harus lebih besar dari 200 ($n_c > 200$), dimana n_c diperoleh melalui perkalian l_w , f_0 , dan jumlah *window* yang dipilih dalam proses pencarian kurva rata-rata H/V (n_c). Ketiga, standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi $A(f)$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ harus bernilai kurang dari 2 ($\sigma_{A(f)} < 2$) pada kasus f_0 lebih besar dari 0,5 Hz, atau harus bernilai lebih kecil dari 3 ($\sigma_{A(f)} < 3$) pada kasus f_0 kurang dari 0,5 Hz.

3. Menganalisis percepatan getaran tanah maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum dianalisis dengan menggunakan metode Kanai (1966) sesuai Persamaan (54) dengan input berupa nilai periode dominan tanah, episenter, kedalaman dan magnitudo. Periode dominan (T_0) di setiap titik diperoleh dari nilai frekuensi dominan (f_0). Jarak episenter, kedalaman dan magnitudo gempa diperoleh berdasarkan data historis gempabumi di Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006. Menurut BMKG, gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 yang berepisenter di $8,03^\circ$ LS dan $110,32^\circ$ BT ini terjadi pada kedalaman 12 km dengan kekuatan 5,9 skala Richter. Nilai percepatan getaran tanah maksimum digunakan untuk mengetahui nilai intensitas gempa dengan mengubah ke dalam skala MMI menggunakan persamaan Wald seperti Persamaan (57). Selain itu, nilai percepatan getaran tanah maksimum dikorelasikan dengan peta distribusi kerusakan gempa dan peta distribusi formasi geologi daerah penelitian.

4. Metode skoring dan klasifikasi

Pada penelitian ini, metode skoring menggunakan 5 kelas untuk 2 parameter. Parameter pertama adalah tingkat kerusakan gempa dilihat dari jumlah bangunan rusak parah, sedangkan parameter kedua adalah intensitas percepatan getaran tanah dengan menggunakan skala MMI. Pemberian skor terhadap parameter pertama ditunjukkan pada Tabel 4 dan pemberian skor terhadap parameter kedua ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Skor Parameter Tingkat Kerusakan Gempa

Jumlah Bangunan Rusak Parah	Skor
A = 0 – 250	1
B = 251 – 500	2
C = 501 – 950	3
D = 951 – 2000	4
E = 2001 – 3500	5

Tabel 5. Skor Parameter Intensitas Percepatan Getaran Tanah dalam skala MMI

Intensitas PGA (skala MMI)	Skor
V = 39 – 92 cm/s ²	1
VI = 92 – 180 cm/s ²	2
VII = 180 – 340 cm/s ²	3
VIII = 340 – 650 cm/s ²	4

Kedua parameter pada Tabel 4 dan Tabel 5 digabung menggunakan analisis skoring dan klasifikasi untuk menentukan zona tingkat resiko kerusakan gempa 2006 dengan intensitas percepatan getaran tanah yang telah dihasilkan (dalam skala MMI). Metode skoring adalah suatu metode pemberian skor atau nilai terhadap masing-masing *value parameter*. Penilaian ini berdasarkan kriteria yang telah ditentukan (Sholahuddin, 2015). Untuk menentukan kriteria tersebut terlebih dahulu ditentukan jarak interval untuk masing-masing kriteria, dalam

penelitian ini ditentukan 3 kategori yang terdiri dari kategori zona resiko rendah, zona resiko sedang dan zona resiko tinggi. Rumus umum penentuan jarak interval kelas dinyatakan sebagai (Sholahuddin, 2015):

$$\text{Jarak Interval (I)} = \frac{\text{Range (R)}}{\text{Kategori (K)}}$$

$$\text{Jarak Interval (I)} = \frac{\text{Skor Tertinggi} - \text{Skor Terendah}}{\text{Jumlah Kategori}} \quad (58)$$

Hasil perhitungan untuk jarak interval diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Jarak Interval (I)} = \frac{9 - 2}{3} = \frac{7}{3} = 2,33 \approx 2$$

Didapatkan nilai jarak interval yaitu 2,33 dibulatkan menjadi 2. Untuk menentukan nilai kategori sedang, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kategori Sedang} = (\text{Skor Terendah} + \text{Jarak Interval}) \text{ sampai} \\ (\text{Skor Tertinggi} - \text{Jarak Interval}) \quad (59)$$

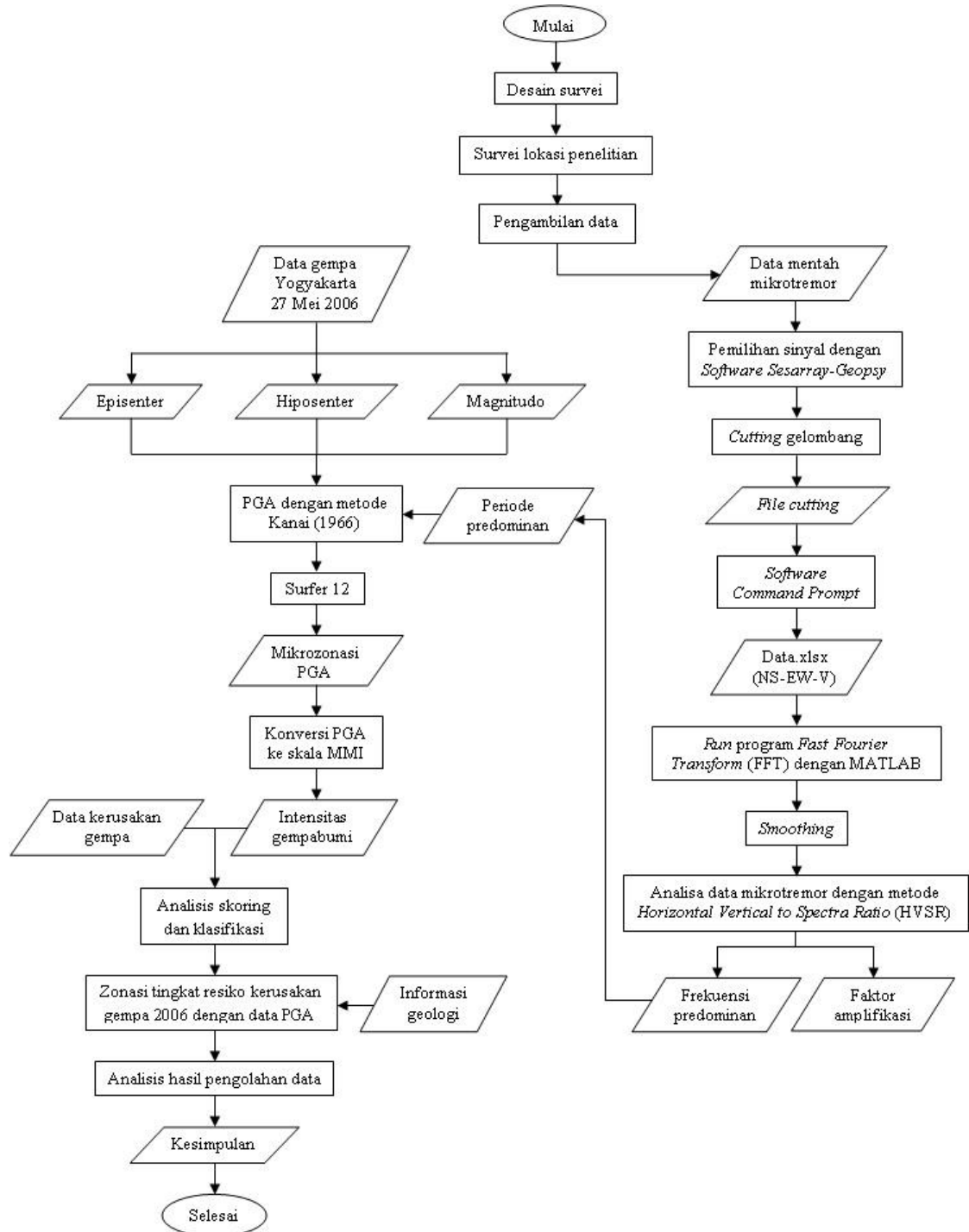
$$\text{Kategori Sedang} = (2 + 2) \text{ sampai } (9 - 2) = 4 \text{ sampai } 7$$

Didapatkan nilai untuk kategori sedang yaitu 4 – 7, untuk kategori rendah di nilai < 4 dan kategori tinggi di nilai > 7.

Setelah mendapat nilai jarak interval, dilakukan metode skoring pada penjumlahan skor kedua parameter, yang kemudian nilai penjumlahan tersebut akan menentukan suatu data masuk kriteria zona resiko rendah, sedang atau tinggi.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Diagram alir penelitian.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

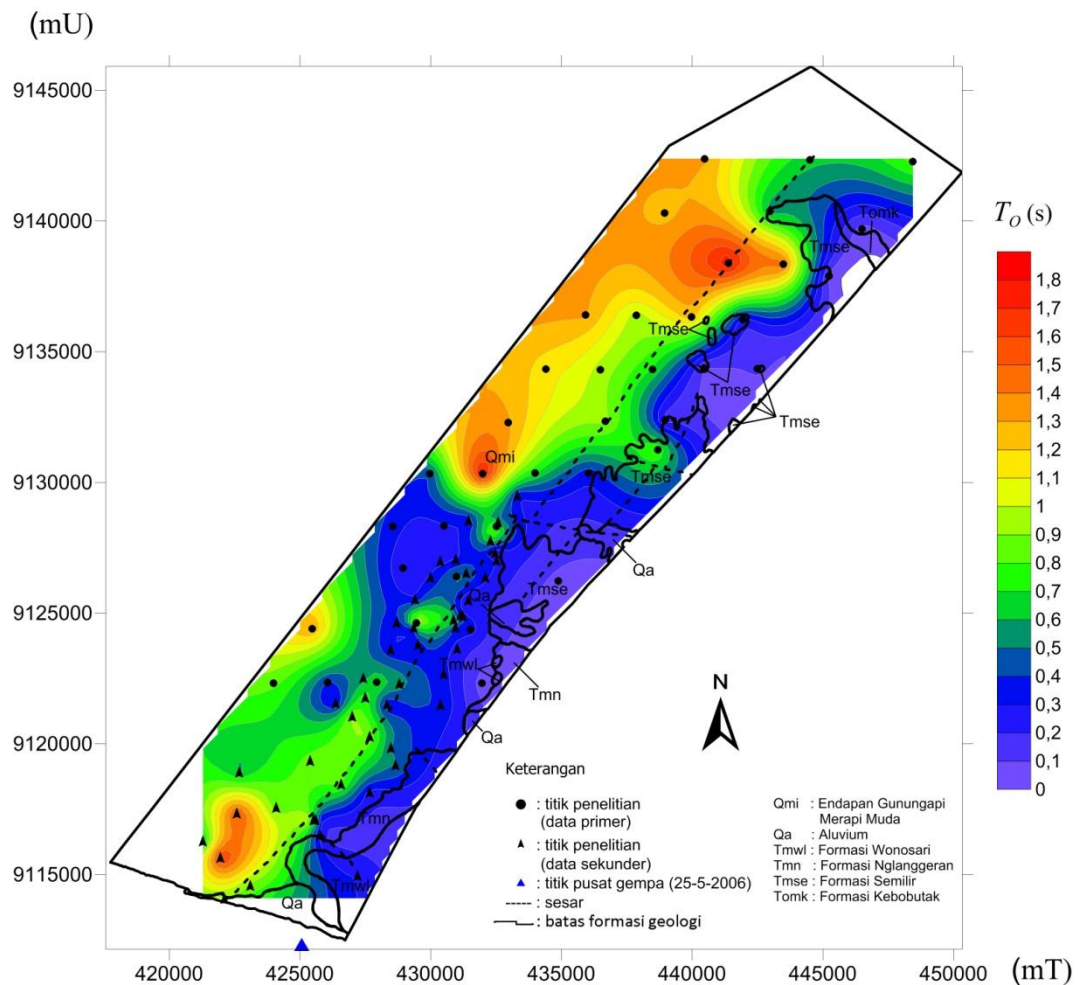
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah percepatan getaran tanah maksimum (PGA) yang diperoleh menggunakan metode Kanai dan intensitas gempa dengan persamaan Wald di kawasan jalur Sesar Opak, kemudian divisualisasikan dengan mikrozonasi. Hasil perhitungan percepatan getaran tanah maksimum dan intensitas gempa dikaitkan dengan tingkat resiko kerusakan gempabumi pada studi kasus gempa Yogyakarta 27 Mei 2006. Dalam penelitian ini, pengolahan data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR untuk memperoleh kurva H/V. Dari kurva H/V diperoleh informasi frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A) yang merepresentasikan karakteristik dinamis lapisan tanah di lokasi pengukuran, dimana frekuensi dominan pada kurva H/V ditunjukkan oleh nilai pada sumbu horizontal pada puncak kurva H/V dan digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini. Intensitas kerusakan tinggi akibat gempabumi biasanya terjadi pada lokasi dengan frekuensi rendah, sebaliknya intensitas kerusakan rendah terjadi pada lokasi dengan frekuensi tinggi (Drajat *et al.*, 2013).

1. Periode Predominan

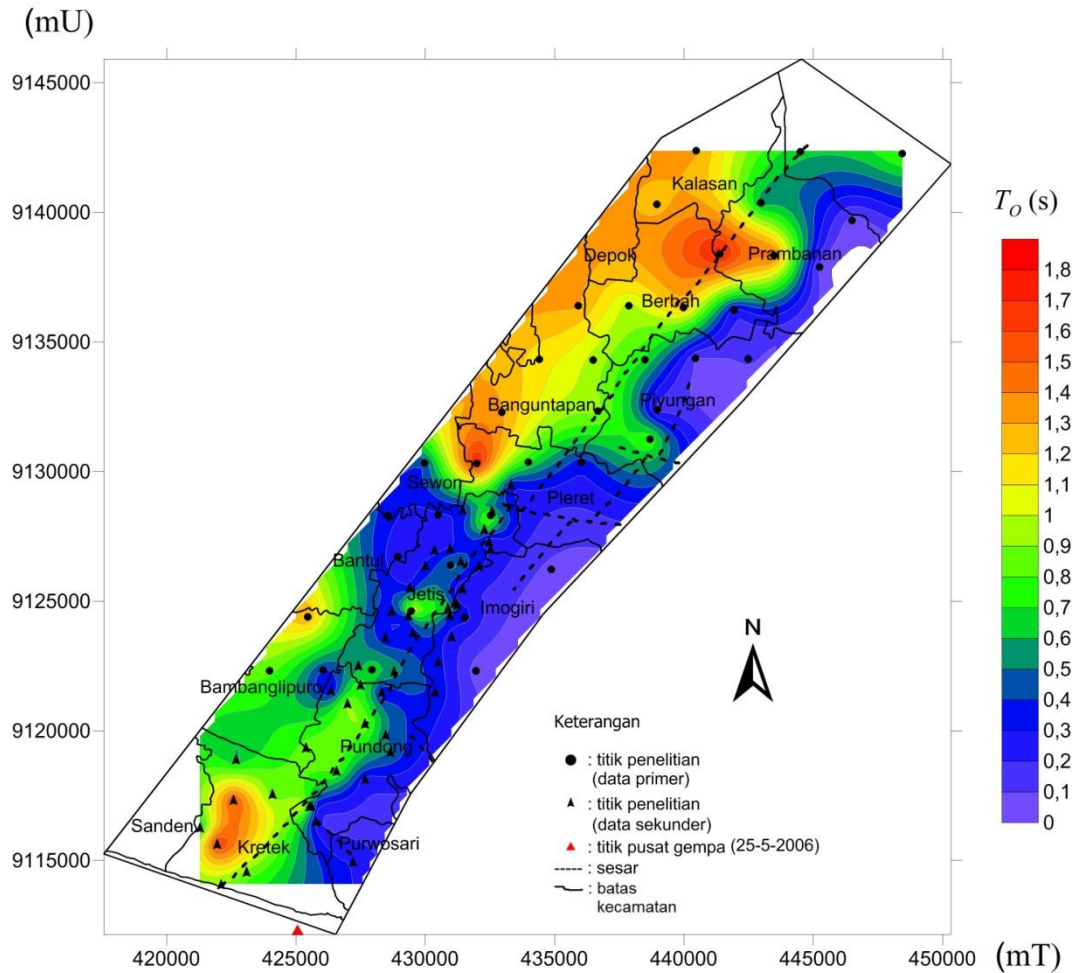
Percepatan tanah permukaan di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (Kanai, 1966). Sifat-sifat lapisan tanah menentukan periode dominan tanah (*predominant period*) jika terdapat getaran seismik, dan besarnya nilai

periode dominan tanah (T_0) mempengaruhi besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum yang dihasilkan dari perhitungan. Nilai periode dominan (T_0) diperoleh dari pembagian satu dengan nilai frekuensi dominan (f_0) yang merupakan hasil pengukuran mikrotremor pada semua titik lokasi pengukuran.

Nilai periode dominan yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) periode dominan seperti pada Gambar 23 dan Gambar 24.



Gambar 23. Peta pemodelan periode dominan di-overlay dengan peta geologi di kawasan jalur Sesar Opak.



Gambar 24. Peta pemodelan periode dominan di-overlay dengan peta administrasi di kawasan jalur Sesar Opak.

Berdasarkan peta pemodelan pada Gambar 23 dan Gambar 24, periode dominan rendah berada pada zona warna ungu dan periode dominan tinggi berada pada zona warna merah. Periode dominan di lokasi penelitian memiliki nilai minimum 0,05 sekon dan nilai maksimum 1,79 sekon yang tersebar di 86 titik penelitian. Nilai ini bersesuaian dengan nilai frekuensi dominan yang memiliki nilai 0,56 Hz hingga 18,64 Hz. Berdasarkan Gambar 23, lokasi penelitian dengan periode relatif lebih tinggi berada pada Endapan Merapi Muda,

sedangkan lokasi penelitian dengan nilai periode dominan relatif lebih rendah berada pada Formasi Nglanggran dan Formasi Semilir.

Periode dominan dengan nilai relatif lebih tinggi terdapat pada Endapan Merapi Muda dengan nilai berkisar antara 0,403 sekon hingga 1,786 sekon. Mengacu pada Lampiran 4, klasifikasi tanah oleh Kanai menyebutkan bahwa periode dominan dengan nilai lebih dari 0,40 sekon termasuk dalam klasifikasi tanah jenis IV yang tersusun atas sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, dan tanah yang tergolong pada jenis tanah lembek dengan kedalaman 30 meter. Hal tersebut sesuai dengan kondisi geologi dimana Endapan Merapi Muda tersusun oleh abu vulkanik, leleran lava, aglomerat dan tuf (Paramitha, 2015). Berdasarkan Gambar 24, Endapan Merapi Muda pada lokasi penelitian berada di Kecamatan Kalasan, Depok, Berbah, Banguntapan, Kotagede, Kretek, Kecamatan Bambanglipuro bagian barat, Kecamatan Prambanan bagian barat, Kecamatan Bantul bagian baratdaya, Kecamatan Pleret bagian barat, Kecamatan Sewon bagian timurlaut, Kecamatan Pundong bagian barat dan Kecamatan Piyungan bagian barat.

Periode dominan dengan nilai relatif lebih rendah terdapat pada Formasi Nglanggran dan Formasi Semilir dengan nilai berkisar antara 0,054 sekon hingga 0,217 sekon. Berdasarkan Lampiran 4, nilai periode dominan berada pada rentang 0,05 – 0,15 sekon termasuk dalam klasifikasi tanah jenis I, dimana tanah tersusun atas batuan keras (*rock*), pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*), dan tanah yang tergolong dalam tanah tersier atau lapisan tanah tua. Pada kedua formasi ini juga dijumpai dua lokasi dengan jenis tanah tipe II yang berada

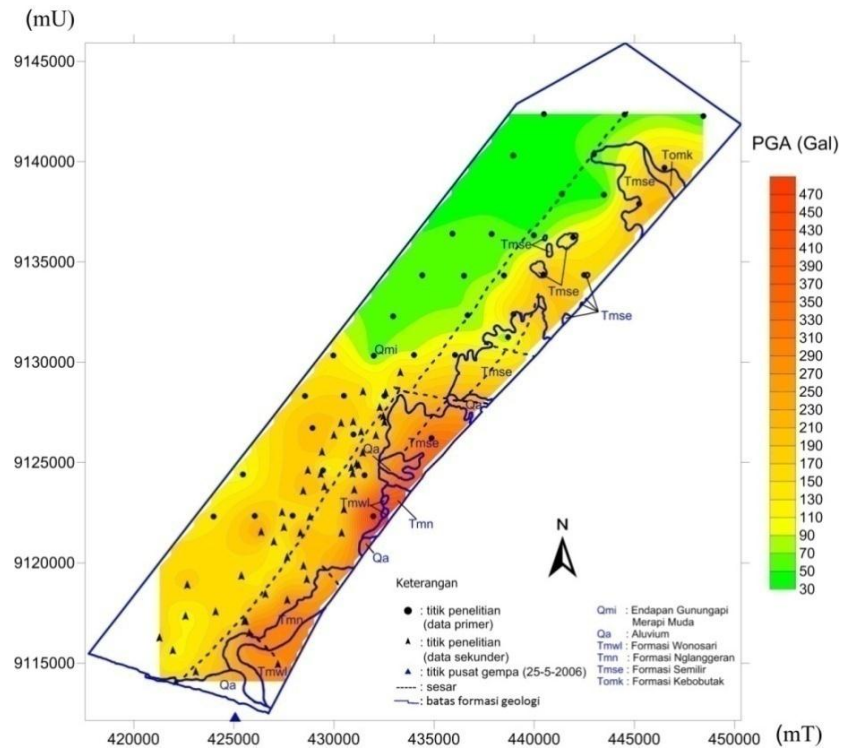
pada rentang periode dominan 0,15 – 0,25 sekon dimana tanah tersusun atas pasir berkerikil (*sandy gravel*), lempung keras berpasir (*sandy hard clay*), dan tanah yang tergolong pada aluvium dengan ketebalan 5 meter atau lebih. Hal tersebut sesuai dengan kondisi geologi kedua formasi tersebut dimana Formasi Nglanggran merupakan formasi yang tersusun atas breksi gunungapi dengan fragmen andesit, breksi aliran, aglomerat, lava, dan tuf, sedangkan Formasi Semilir tersusun oleh perselingan breksi dengan tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. Formasi Semilir diendapkan bersamaan dengan Formasi Nglanggran pada Miosen Bawah – Miosen Tengah (Paramitha, 2015).

Berdasarkan Gambar 24, Formasi Nglanggran pada lokasi penelitian berada di Kecamatan Imogiri dan Kecamatan Pundong bagian tenggara. Sementara itu, Formasi Semilir berada di Kecamatan Imogiri, Kecamatan Pleret bagian selatan, Kecamatan Piyungan bagian timur, dan Kecamatan Prambanan bagian timur.

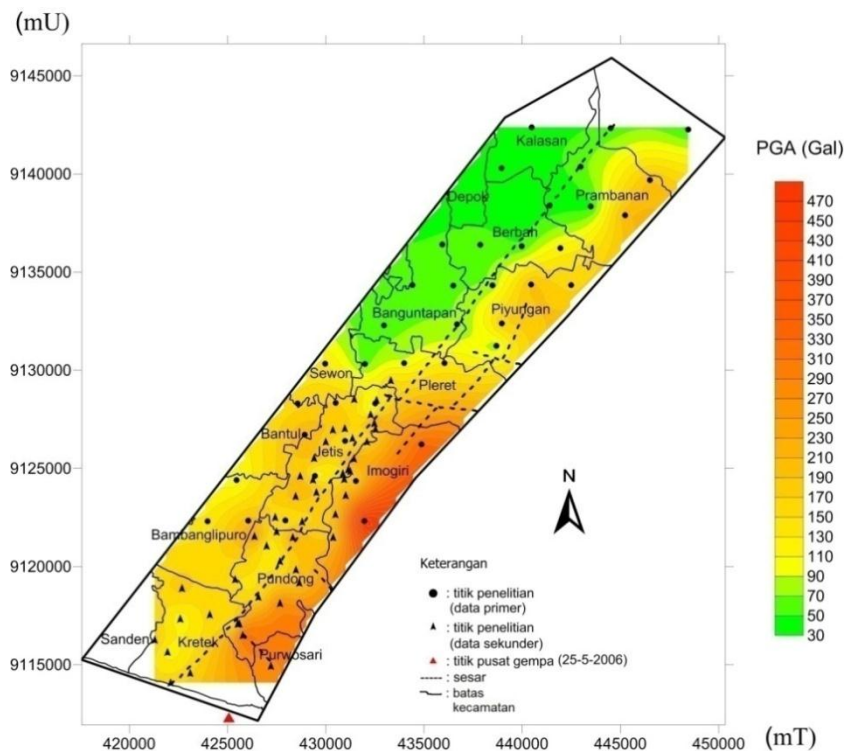
2. Percepatan Getaran Tanah dan Intensitas Gempabumi

Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di kawasan jalur Sesar Opak diperoleh dengan menggunakan metode Kanai (1966) seperti tertera pada persamaan (54), dengan parameter periode dominan tanah yang telah dihitung sebelumnya. Selain periode dominan tanah, parameter lain untuk menghitung nilai PGA dengan metode Kanai adalah episenter, hiposenter dan magnitudo yang mengacu pada gempabumi Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006. Gempabumi tersebut berepisenter di $8,03^{\circ}$ LS - $110,32^{\circ}$ BT pada kedalaman 12 km dengan kekuatan 5,9 SR. Dilihat dari kedalamannya, gempabumi ini termasuk gempabumi dengan kedalaman dangkal, yaitu kurang dari 30 km. Semakin dangkal kedalaman gempabumi maka kerusakan yang ditimbulkan akibat gempabumi akan semakin tinggi. Selain itu, magnitudo gempabumi yang besar juga menyebabkan dampak gempabumi yang besar.

Nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 diperoleh sebesar $39,24 - 485,37 \text{ cm/s}^2$ (Lampiran 7) yang tersebar di 86 titik penelitian seperti yang ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) percepatan getaran tanah maksimum pada Gambar 25 dan Gambar 26. Nilai PGA tertinggi berada di titik 2 yaitu $485,37 \text{ cm/s}^2$ yang ditunjukkan dengan zona merah. Nilai PGA terendah berada di titik 31 yaitu $39,24 \text{ cm/s}^2$ yang ditunjukkan dengan zona hijau.

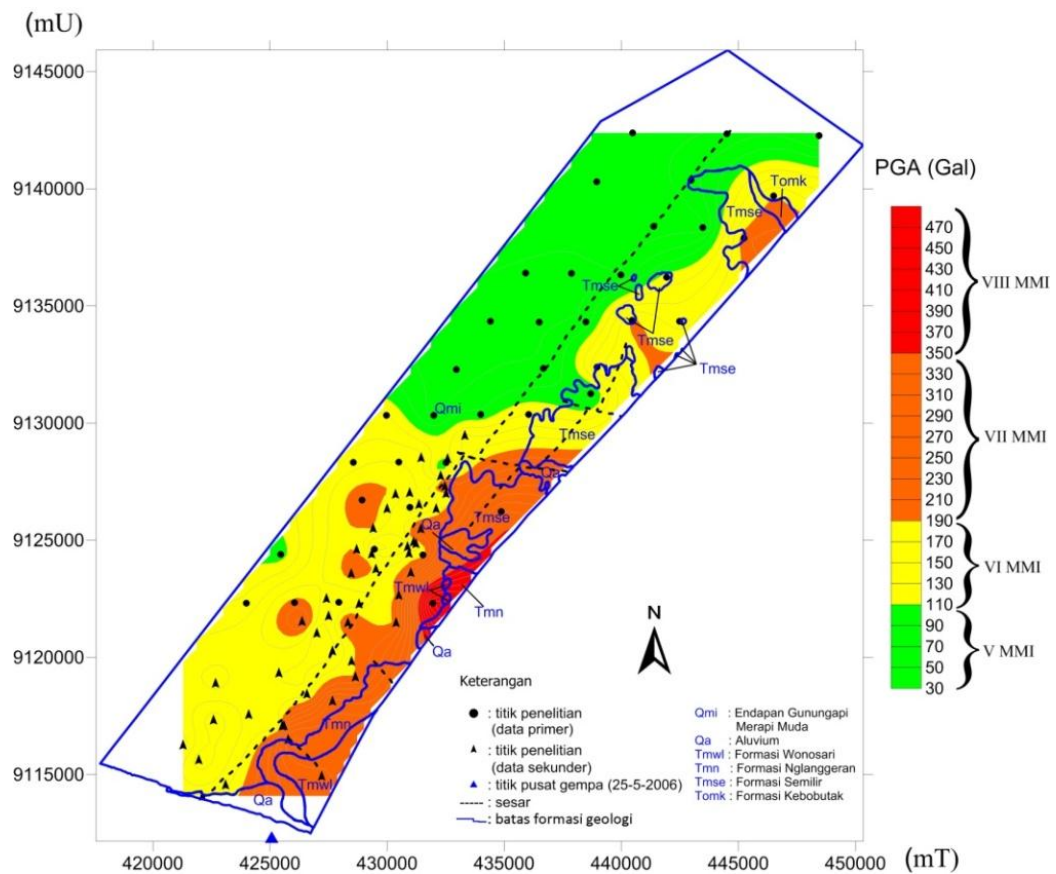


Gambar 25. Peta pemodelan PGA di-overlay dengan peta geologi di kawasan jalur Sesar Opak.

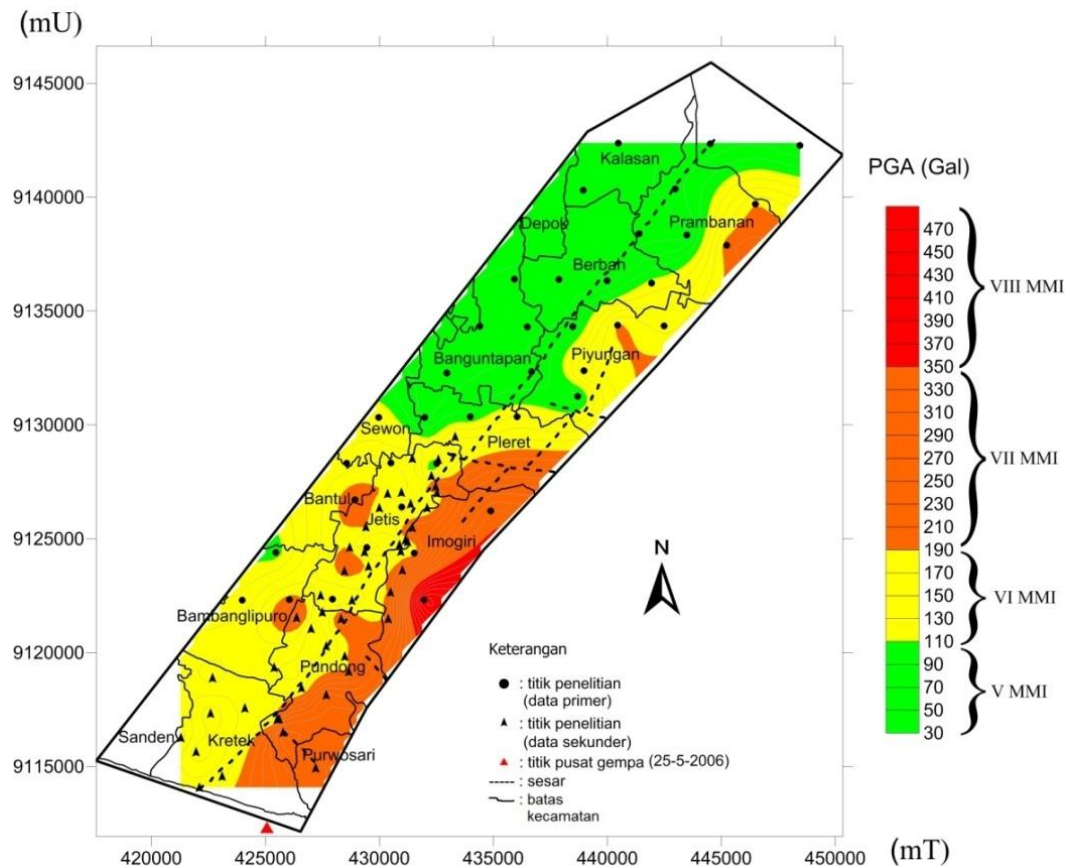


Gambar 26. Peta pemodelan PGA di-overlay dengan peta administrasi di kawasan jalur Sesar Opak.

Nilai PGA yang didapat kemudian digunakan untuk menganalisis intensitas gempa menggunakan persamaan Wald pada persamaan (57). Intensitas gempabumi yang diperoleh kemudian dikonversikan ke dalam skala MMI dengan standar konversi skala MMI yang tertera pada Tabel 2. Berdasarkan hasil perhitungan, intensitas gempabumi di kawasan jalur Sesar Opak berkisar pada skala V-VIII MMI (Lampiran 8). Berdasarkan data intensitas gempabumi, dapat dibuat peta pemodelan dalam skala MMI di lokasi penelitian seperti pada Gambar 27 dan Gambar 28.



Gambar 27. Peta mikrozonasi nilai PGA dalam skala MMI di-overlay dengan peta geologi di kawasan jalur Sesar Opak.



Gambar 28. Peta mikrozonasi nilai PGA dalam skala MMI di-*overlay* dengan peta administrasi di kawasan jalur Sesar Opak.

Berdasarkan Gambar 27, nilai PGA relatif lebih rendah berada pada Endapan Merapi Muda dengan rentang nilai 39,24 – 77,48 cm/s^2 , dimana berdasarkan intensitas gempabumi dalam skala MMI berada pada rentang skala V MMI. Berdasarkan Gambar 28, respon PGA relatif lebih rendah berada di Kecamatan Kalasan, Kecamatan Prambanan bagian barat, Kecamatan Depok, Kecamatan Berbah, Kecamatan Banguntapan, Kecamatan Kotagede, Kecamatan Piyungan bagian barat, Kecamatan Pleret bagian barat laut dan Kecamatan Sewon bagian timur. Pada skala V MMI, getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk,

jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon tinggi tampak bergoyang.

PGA sedang memiliki rentang nilai $93,57 - 178,55 \text{ cm/s}^2$ berada pada Endapan Merapi Muda, dimana berdasarkan intensitas gempabumi dalam skala MMI berada pada rentang skala VI MMI. Skala VI MMI akan memberikan efek gempa seperti getaran dirasakan oleh semua penduduk, kebanyakan terkejut dan lari ke luar, kadang-kadang meja kursi bergerak, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak, dan terjadi kerusakan ringan. Berdasarkan Gambar 28, kondisi tersebut secara administratif dirasakan di lokasi penelitian yang berada di Kecamatan Piyungan sebelah timur laut dan sebelah tenggara, di Kecamatan Prambanan bagian tengah, di Kecamatan Pleret bagian tengah, Kecamatan Sewon sebelah selatan, Kecamatan Pundong sebelah barat dan barat daya dan sebagian besar Kecamatan Bantul, Kecamatan Jetis, Kecamatan Bambanglipuro dan Kecamatan Kretek. Untuk respon PGA yang relatif lebih tinggi dengan rentang nilai $180,73 - 485,37 \text{ cm/s}^2$ berada pada Formasi Nglanggran, Formasi Semilir, dan Formasi Wonosari, dimana berdasarkan intensitas gempabumi dalam skala MMI berada pada rentang skala VII-VIII MMI. Efek yang dirasakan pada skala VII MMI adalah semua orang ke luar rumah, kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik, cerobong asap pecah atau retak-retak, dan guncangan terasa oleh orang yang naik kendaraan. Sedangkan efek skala VIII MMI adalah kerusakan ringan pada bangunan-bangunan dengan konstruksi yang kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat, banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat, dinding dapat lepas dari kerangka rumah, meja kursi terlempar,

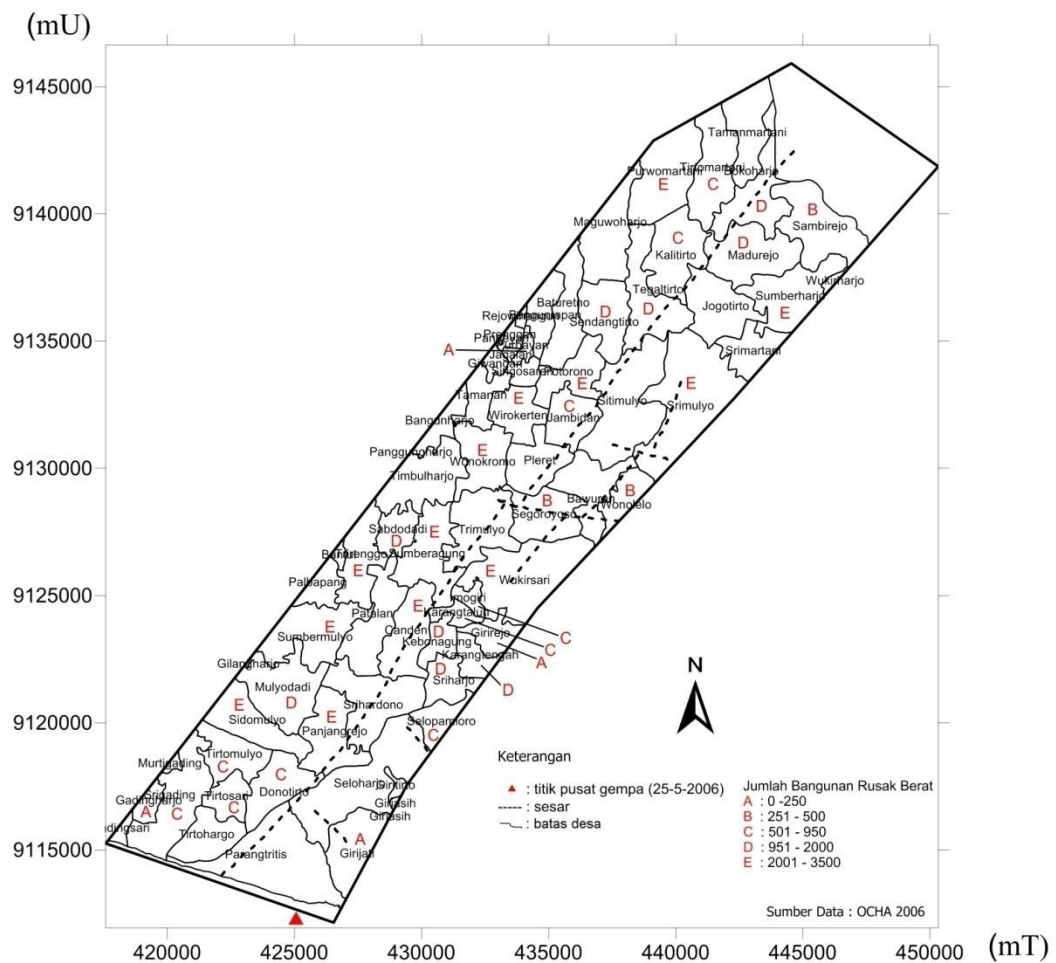
air menjadi keruh dan orang naik sepeda motor terasa terganggu. Berdasarkan Gambar 28, nilai PGA relatif lebih tinggi berada pada Kecamatan Imogiri, Kecamatan Prambanan sebelah timur, Kecamatan Pleret sebelah tenggara, Kecamatan Piyungan sebelah timur, Kecamatan Pundong sebelah timur, Kecamatan Purwosari, Kecamatan Kretek sebelah tenggara dan sebagian kecil Kecamatan Bantul, Kecamatan Bambanglipuro dan Kecamatan Jetis.

Hasil nilai PGA dengan rumusan Kanai berbanding terbalik dengan nilai periode dominan tanah, dimana pada periode dominan tinggi mengindikasikan lokasi tertentu tersusun atas lapisan sedimen tebal (Aulia, 2016). Material lunak penyusun lapisan sedimen memiliki inersia besar sehingga menyebabkan lokasi tersebut sukar berhenti saat guncangan gempa bumi terjadi. Semakin besar inersia suatu benda, semakin sulit membuat benda tersebut bergerak. Begitupun sebaliknya, benda yang bergerak sulit dihentikan jika inersianya besar (Banjarnahor, 2012). Dalam hal ini lapisan sedimen tebal kurang responsif terhadap guncangan gempa dan cenderung memiliki getaran tanah yang lebih lambat (PGA rendah) dengan durasi yang lama.

Persebaran nilai PGA sedang sampai nilai PGA tertinggi di kawasan jalur Sesar Opak sebagian besar berada di kawasan tengah sampai selatan Sesar Opak dan nilai PGA rendah berada di kawasan tengah sampai utara Sesar Opak. Hal ini disebabkan karena parameter episenter lebih berpengaruh terhadap nilai PGA, dimana nilai PGA akan relatif lebih tinggi ketika jarak episenternya lebih dekat dan sebaliknya nilai PGA akan relatif lebih rendah ketika jarak episenternya lebih jauh. Dengan arti lain, lokasi dengan nilai PGA lebih tinggi mengindikasikan

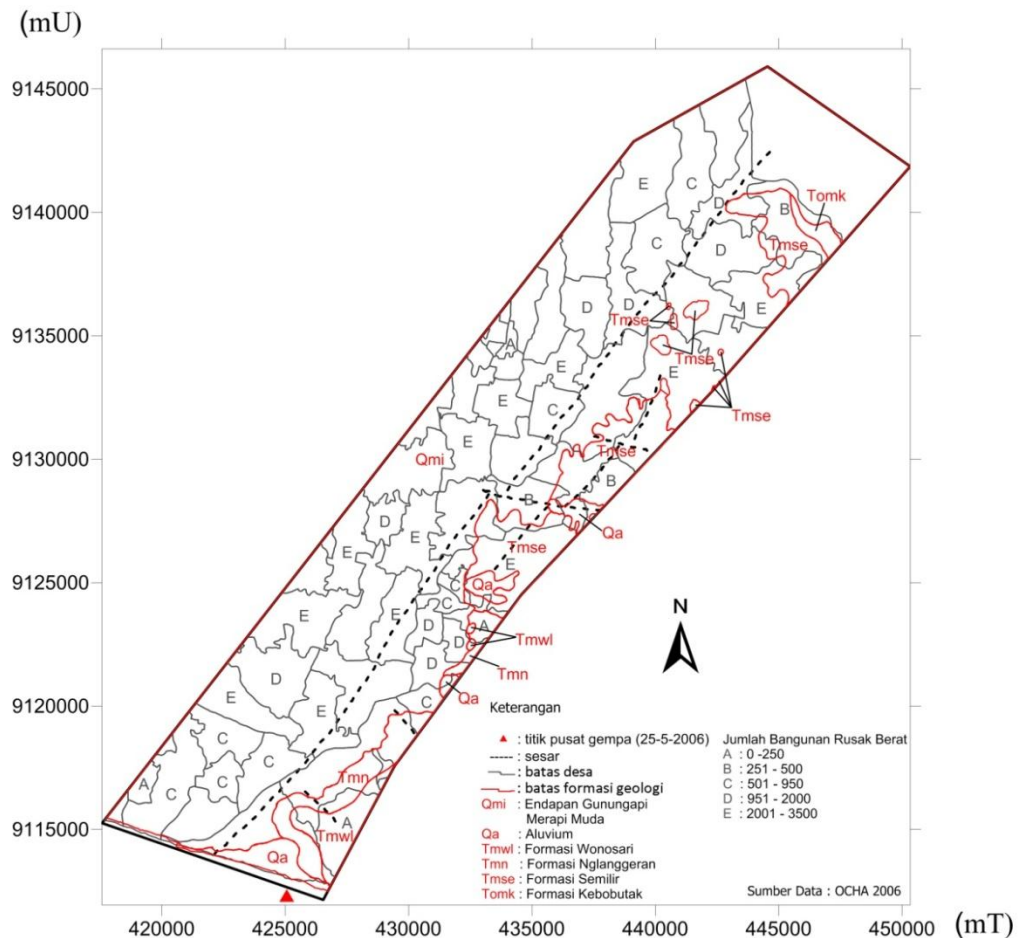
bahwa apabila terjadi gempa bumi yang berepisenter di sekitar episenter gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 pada masa yang akan datang, maka pergerakan tanah di lokasi tersebut akan terjadi lebih cepat dalam waktu yang singkat (nilai periode dominan tanah rendah), begitupun sebaliknya.

Mikrozonasi nilai PGA kemudian dibandingkan dengan peta sebaran kerusakan berat pada bangunan akibat gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 berdasarkan OCHA (2006), yang ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Peta distribusi kerusakan akibat gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 di-overlay dengan peta administrasi desa.

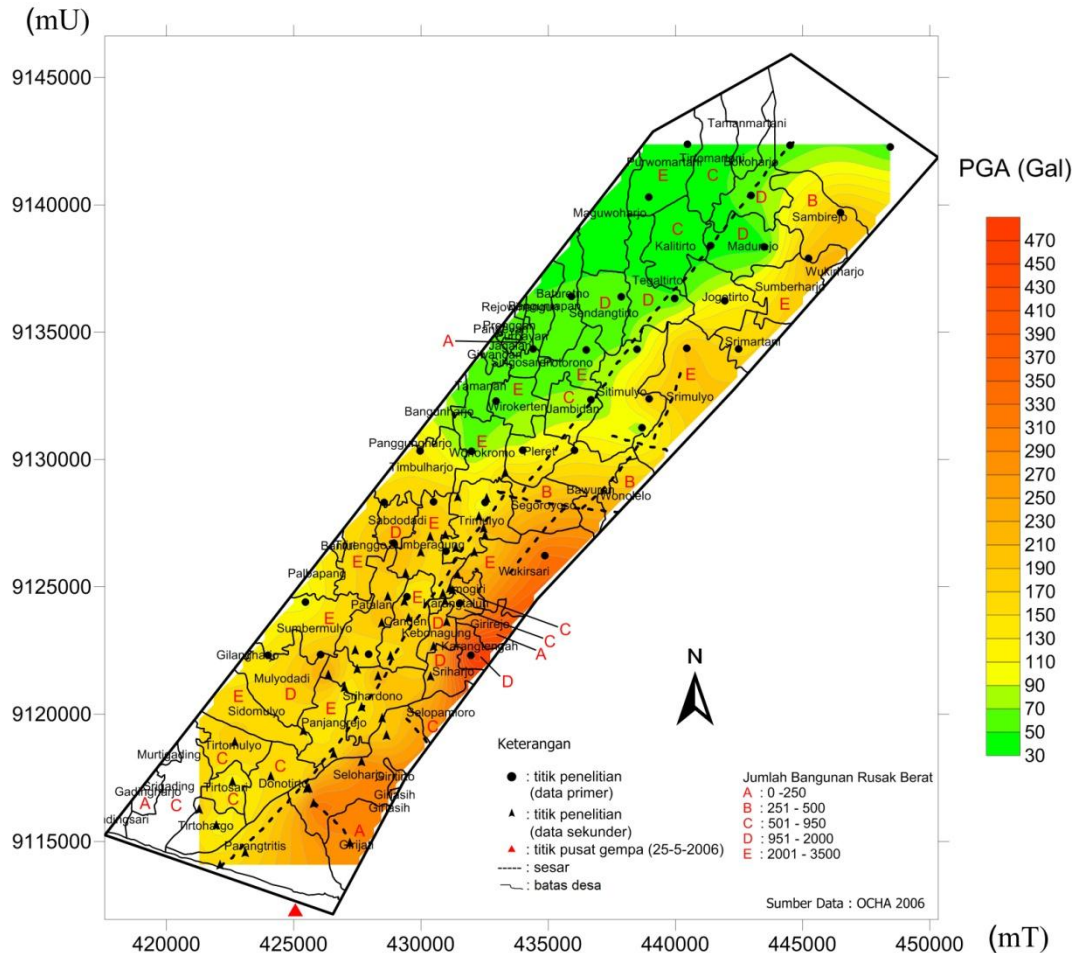
Gambar 29 merupakan sebaran kerusakan berat akibat gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006, dimana huruf A menandakan wilayah bangunan rusak berat berjumlah 0 – 250 bangunan, sedangkan huruf B menandakan wilayah bangunan rusak berat berjumlah 251 – 500 bangunan, huruf C menandakan wilayah bangunan rusak berat berjumlah 501 – 950 bangunan, huruf D menandakan wilayah bangunan rusak berat berjumlah 951 – 2000, dan yang paling banyak jumlah bangunan rusak berat dengan jumlah 2001 – 3500 ditandai dengan huruf E. Jumlah desa yang masuk kategori A berjumlah 4 desa, yaitu Desa Gadingharjo, Desa Girijati, Desa Girirejo dan Desa Purbayan. Desa yang termasuk kategori B di antaranya Desa Wonolelo, Desa Segoroyoso dan Desa Sambirejo. Desa dengan kategori C berjumlah 10 desa, 2 di antaranya adalah Desa Donotirto dan Desa Tirtosari. Desa dengan kategori D berjumlah 9 desa, 2 di antaranya adalah Desa Mulyodadi dan Desa Sriharjo. Desa dengan kategori E berjumlah 13 desa, 2 di antaranya Desa Sidomulyo dan Desa Panjangrejo. Untuk informasi lengkapnya tertera pada Lampiran 9. Gambar 30 merupakan peta sebaran kerusakan gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 di-*overlay* dengan peta geologi.



Gambar 30. Peta distribusi kerusakan akibat gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 di-overlay dengan peta geologi.

Pada Gambar 30, sebaran kerusakan bangunan dengan kategori D dan E atau kategori jumlah bangunan rusak berat paling banyak terdapat di Endapan Merapi Muda. Nilai PGA relatif lebih rendah sesuai dengan peta sebaran bangunan rusak berat paling banyak karena berada di formasi geologi yang sama. Untuk sebaran kerusakan dengan kategori A dan B, atau kategori jumlah bangunan rusak berat paling sedikit berada di Formasi Semilir, Formasi Wonosari dan Formasi Nglanggran. Nilai PGA relatif lebih tinggi berada pada formasi geologi yang sama dengan peta sebaran bangunan rusak berat. Gambar 31 merupakan peta mikrozonasi PGA di-overlay dengan peta sebaran kerusakan

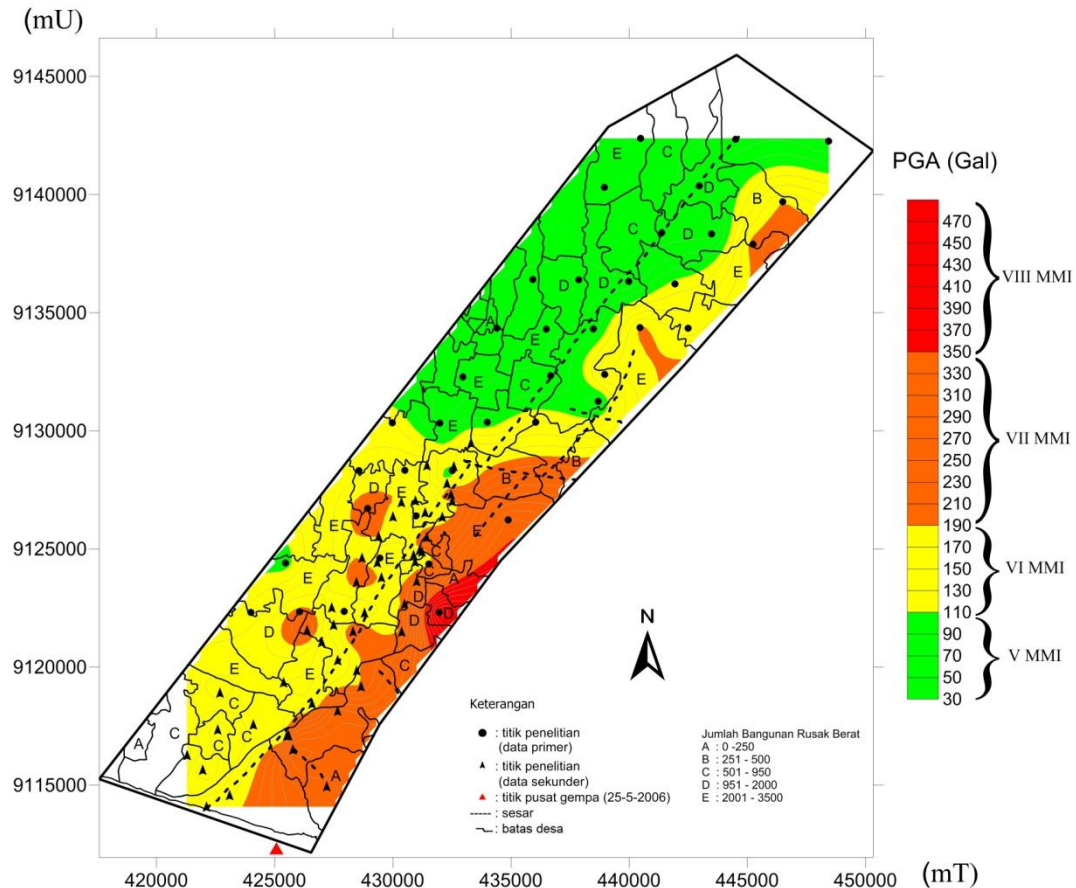
akibat gempa bumi 27 Mei 2006 dan peta administrasi desa. Dilihat dari hasil mikrozonasi, ternyata hanya ada beberapa desa yang memiliki korelasi antara nilai PGA relatif lebih tinggi dengan jumlah kerusakan bangunan rusak berat paling sedikit yaitu kategori A dan B (zona orange sampai merah), diantaranya Desa Girijati yang berada di Kecamatan Purwosari, Desa Girirejo di Kecamatan Imogiri, Desa Sambirejo di Kecamatan Prambanan, Desa Segoroyoso dan Desa Wonolelo yang berada di Kecamatan Pleret, dengan jumlah bangunan rusak berat sekitar 0 – 500. Sedangkan, nilai PGA relatif lebih rendah dengan jumlah kerusakan bangunan rusak berat paling banyak yaitu kategori D dan E (zona hijau), diantaranya Desa Purwomartani di Kecamatan Kalasan, Desa Bokoharjo dan Desa Madurejo di Kecamatan Prambanan, Desa Tegaltirto dan Desa Sendangtirto di Kecamatan Berbah, Desa Wirokerten dan Desa Potorono di Kecamatan Banguntapan, dan Desa Wonokromo di Kecamatan Pleret, dengan jumlah bangunan rusak berat sekitar 951 – 3500. Namun, kebanyakan desa lainnya memiliki nilai PGA relatif lebih tinggi dengan jumlah bangunan rusak berat paling banyak, kemungkinan hal ini disebabkan karena struktur bangunan yang tidak terlalu kuat dan lokasi desa-desa tersebut berada di Endapan Merapi Muda yang sebagian besar berupa endapan lunak. Endapan lunak akan memperkecil frekuensi getaran tanah dan memperpanjang durasinya, sehingga akan menambah efek kerusakan yang ditimbulkan.



Gambar 31. Peta mikrozonasi PGA di-overlay dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi 27 Mei 2006 dan peta administrasi desa.

Untuk mengetahui tingkat resiko kerusakan gempa bumi pada lokasi penelitian, dibuat mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa dengan menggabungkan peta kerusakan bangunan rusak berat pada tingkat administrasi desa dengan nilai intensitas PGA dalam skala MMI menggunakan persamaan Wald, yang menunjukkan bahwa lokasi dengan nilai PGA tinggi akan memiliki skala MMI yang tinggi. Dimana semakin tinggi skala MMI pada suatu lokasi maka semakin besar kerusakan yang dialami oleh lokasi tersebut.

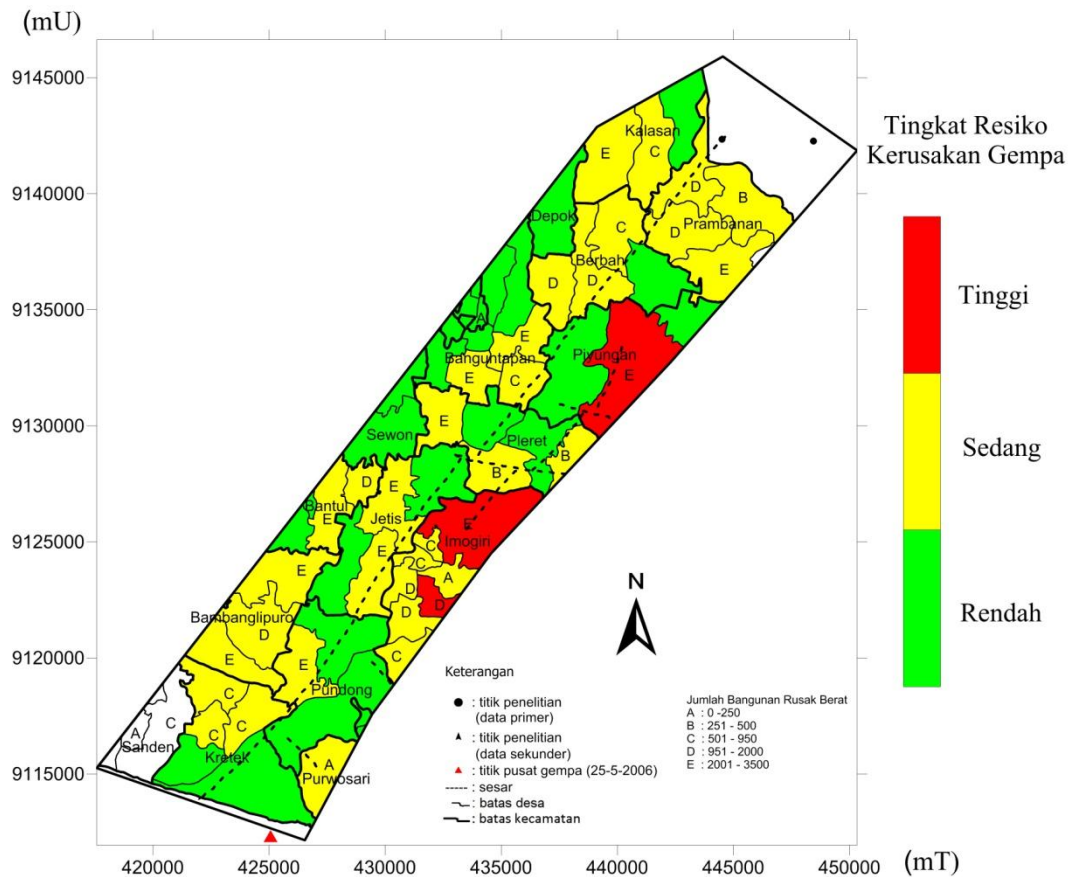
Untuk menggabungkan kedua parameter tersebut dilakukan dengan metode skoring dan dibuat tabel per parameter seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5. Untuk parameter tingkat kerusakan gempa dengan jumlah bangunan rusak parah ditunjukkan pada Gambar 29 dan untuk parameter kedua yaitu intensitas PGA dalam skala MMI ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 32. Peta mikrozonasi nilai PGA dalam skala MMI di-*overlay* dengan peta sebaran kerusakan akibat gempa bumi 27 Mei 2006.

Untuk skor parameter tingkat kerusakan gempa, jumlah bangunan rusak berat paling sedikit sampai jumlah bangunan rusak berat paling banyak ditandai dengan angka 1 sampai 5. Sedangkan untuk skor parameter intensitas PGA dalam skala MMI, dari skala V MMI sampai skala VIII MMI ditandai dengan angka 1

sampai 4. Untuk hasil mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa dibuat 3 kategori yaitu kategori tinggi, sedang, dan rendah. Sebelumnya, terlebih dulu dicari nilai interval untuk setiap kategori dengan persamaan (58). Hasil jarak interval untuk setiap kategori adalah 2, dan untuk menentukan nilai kategori sedang, dirumuskan seperti persamaan (59). Hasil dari kategori sedang adalah dari skor 4 sampai 7, untuk kategori rendah berada pada nilai < 4 dan kategori tinggi berada pada nilai > 7 . Untuk keterangan tingkat resiko kerusakan gempa pada setiap desa ditunjukkan pada Lampiran 9. Hasil mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa ditunjukkan pada Gambar 33.



Gambar 33. Mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa di-overlay dengan peta administrasi kecamatan.

Pada Gambar 33, terdapat 3 desa yang termasuk dalam tingkat resiko tinggi kerusakan gempa (zona merah) yaitu Desa Wukirsari dan Desa Karangtengah yang berada di Kecamatan Imogiri dan Desa Srimulyo yang berada di Kecamatan Piyungan. Dilihat dari nilai PGA, desa-desa tersebut termasuk dalam nilai PGA relatif lebih tinggi dan dilihat dari peta kerusakan jumlah bangunan rusak berat berada pada kategori jumlah bangunan rusak berat paling banyak. Kebanyakan desa termasuk dalam tingkat resiko sedang terhadap kerusakan gempa. Tingkat resiko rendah terhadap kerusakan gempa terjadi karena pada peta kerusakan gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 wilayah tersebut merupakan wilayah bangunan dengan kerusakan ringan.

Secara garis besar, lokasi yang memiliki nilai PGA rendah adalah lokasi dengan periode dominan tanah tinggi dan memiliki lapisan sedimen tebal (tinggi). Hal ini sesuai dengan data penelitian yang telah diperoleh dimana Endapan Merapi Muda dengan nilai periode dominan tinggi, memiliki lapisan sedimen yang tebal (Sudrajat, 2017). Dimana dengan nilai periode dominan tinggi menghasilkan nilai PGA rendah, dan apabila terjadi guncangan gempabumi di lokasi tersebut, guncangan yang terasa lebih lambat namun kuat (teramplifikasi) dan berlangsung dalam durasi yang lebih lama. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan parah pada bangunan. Sedangkan lapisan sedimen yang lebih tipis menyebabkan PGA pada Formasi Nglanggran dan Formasi Semilir lebih tinggi dan apabila terjadi guncangan gempabumi, lokasi tersebut akan mengalami guncangan yang lebih cepat namun dalam durasi yang lebih singkat, kemungkinan besar dampak kerusakan yang ditimbulkan itu kecil.

Meskipun untuk mikrozonasi peta tingkat resiko kerusakan gempa menggunakan peta nilai PGA dalam skala MMI berdasarkan persamaan Wald (Gambar 32) yang menunjukkan bahwa lokasi dengan nilai PGA tinggi akan lebih rawan terhadap guncangan gempabumi, itu tidak menjamin bahwa nilai PGA rendah juga akan lebih aman saat terjadi gempabumi. Hal ini disebabkan karena lokasi dengan PGA rendah juga dapat mengalami kerusakan berat akibat gempabumi, mengingat kondisi geologi dengan lapisan sedimen yang tebal mengakibatkan lokasi tersebut mengamplifikasi guncangan saat terjadi gempabumi. Oleh karena itu, PGA bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi kerusakan berat akibat guncangan gempabumi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di kawasan jalur Sesar Opak berkisar antara 39,24 – 485,37 cm/s² yang memiliki kategori rendah hingga tinggi.
2. Dari hasil mikrozonasi nilai PGA, titik 2 memiliki nilai PGA tertinggi yaitu 485,37 cm/s² yang berada di Kecamatan Imogiri dimana jenis tanah lokasi tersebut terdiri dari batuan keras (*rock*), pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*), dan tanah yang tergolong dalam tanah tersier atau lapisan tanah tua, sedangkan nilai PGA terendah berada di titik 31 yaitu 39,24 cm/s² yang berada di Kecamatan Prambanan dimana jenis tanah lokasi tersebut terdiri dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, dan tanah yang tergolong pada jenis tanah lembek.
3. Nilai intensitas gempa dalam skala MMI di kawasan jalur Sesar Opak berdasarkan analisis PGA menggunakan persamaan Wald adalah V, VI, VII, dan VIII MMI.
4. Dari hasil mikrozonasi tingkat resiko kerusakan gempa, terdapat 3 desa yang termasuk dalam tingkat resiko tinggi kerusakan gempa yaitu Desa Wukirsari dan Desa Karangtengah yang berada di Kecamatan Imogiri, serta Desa

Srimulyo yang berada di Kecamatan Piyungan. Untuk tingkat resiko sedang dan rendah menyebar di berbagai desa di kawasan jalur Sesar Opak.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar pengambilan titik pengukuran diambil dengan jarak antar titik kurang dari 2 km sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat. Selain itu, perlu dibuat lagi penelitian dengan menggunakan peta kerusakan gempa selain peta yang bersumber pada peta kerusakan gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 oleh OCHA.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, Z., Susilo, A., dan Anshori, M. 2015. *Studi Percepatan Tanah Maksimum di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode NGA (Next Generation Attenuation)*. Malang : Repository FMIPA Universitas Brawijaya.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, Setianegara, R. 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Lampung: UNILA.
- Aulia, Meita. 2016. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi. 2006. *Laporan Perkembangan Penanganan Bencana Gempa Bumi Di Jogjakarta dan Jawa Tengah*. Jakarta: BAKORNAS PBP
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2009. *Hasil Survey Daerah*. Diakses dari http://www.bappenas.go.id/index.php/download_file/view/14060/3930 pada tanggal 27 September 2016, pukul 18.52 WIB.
- Banjarnahor, Hendra. 2012. *Sistem Pengukuran Momen Inersia Benda Pejal Dengan Metode Osilasi Harmonik Berbasis Mikrokontroler*. Skripsi. FIMPA UI.
- Bour, M., Fouissac, D., Dorninique, P., dan Martin, C. 1998. *On the Use of Microtremor Recording in Seismic Microzonation*. France: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 PII:S0267-7261(98)00014-1
- Douglas, John. 2004. *Ground Motion Estimation Equation 1964-2003*. London: South Kensington Campus Press.
- Drajat, N., Susilanto, P., Nurdyanto, B., Pakpahan, S., dan Masturyono. 2013. *Efek Tapak Lokal pada Daerah Kerusakan Akibat Gempabumi Bogor 9 September 2012*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG.
- Edwiza, D., dan Novita, S. 2008. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai*. Padang: Repository Universitas Andalas.
- Elnashai, Amr S., & Sarno, Luigi D. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son.
- Febbyanto, Haris. 2012. *Geologi dan Studi Formasi Nglanggran Daerah Patuk dan Sekitarnya, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi D.I. Yogyakarta*. Thesis. Yogyakarta: UPN.

- Fransisko. 2015. *Analisis Percepatan Tanah Menggunakan Metode Kanai Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: FST UIN Yogyakarta.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.
- Ghose, R., & Oike, K. 1988. *Characteristics of Seismicity Distribution Along The Sunda*. Japan: Some New Observations, Bull. Disas. Prev. Inst., Kyoto University, Vol.38, Part.2, No.332.
- Haifani, A.M. 2008. *Manajemen Resiko Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus Gempa Bumi Yogyakarta 27 Mei 2006)*. Yogyakarta: SDM Teknologi Nuklir.
- Hartati, Lidya. 2010. *Perbandingan Analisa Percepatan Tanah Pendekatan Empiris dengan Accelerograph dan Pemodelan Zonasi akibat Gempabumi Studi Kasus Gempa Yogyakarta Tahun 2008 sampai dengan 2010*. Skripsi. Yogyakarta: FST UIN Yogyakarta.
- IAGI. 2013. *Formasi Semilir di Pegunungan Selatan, Jawa Tengah Suatu Hasil Letusan Dahsyat Gunung Api Miosen*. Diakses dari <http://www.iagi.or.id/paper/formasi-semilir-di-pegunungan-selatan-jawa-tengah-suatu-hasil-letusan-dahsyat-gunung-api-miosen> pada tanggal 10 Februari 2017, pukul 11.05.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI). 2016. Diakses dari <http://kbbi.web.id/zonasi> pada tanggal 11 April 2017, pukul 11.00.
- Karlina, T. 2013. *Geologi Regional Pegunungan Selatan, Jawa Tengah*. Yogyakarta: Kementrian Pendidikan Nasional Universitas Gadjah Mada.
- Kirbani, S.B. 2012. *Mitigasi Bencana Gempabumi*. Yogyakarta: Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada.
- Konno, K., & Ohmachi, T. 1998. *Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 88, No. 1, pp 228-241.
- Kusky, Timothy. 2008. *Earthquakes: Plate Tectonics and Earthquake Hazards*. New York: Infobase Publishing.
- Lathifah, N.R. 2015. *Studi Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan Metode Tong & Katayama (1988) dan Indeks Kerentanan Seismik di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Lermo, Javier and Chávez-García, Francisco J. 1993. *Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station*. America: Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5, pp 1574-1594.
- Lian, K.S. 2014. *Identifikasi Risiko Bahaya Gempabumi Berdasarkan Parameter Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kepadatan Penduduk di*

- Kabupaten Kulon Progo (Studi Kasus Gempabumi Kebumen 25 Januari 2014)*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Lilie & Robert, J. 1999. *Whole Earth Geophysics "An Introductory Textbook for Geologists and Geophysicists"*. New Jersey: Prentice Hall. P. 186.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Manolakis, Dimitris G., & Ingle, Vinay K. 2011. *Applied Digital Signal Processing Theory and Practice*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Milson, J., Masson D., Nichols G., Sikumbang N., Dwiyanto B., Parson L., dan Kallagher, H. 1992. *The Manokwari Trough and The Western End of The New Guinea Trench*, Tectonics, 11, 145-153.
- Mirzaoglu, M., & Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure*. Balkan: Journal of the Balkan Geophysical, Vol. 6, No. 3, p. 143 – 156.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol.30, No.1.
- Nakamura, Y. 2000. *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC*. Japan: Quarterly Report of RTRI, Vol. 37, No. 3, 112-127.
- OCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs). 2006. *Indonesia: Destroyed + Heavily, and Lightly Damaged Housing-Yogyakarta Province*. Indonesia: OCHA Country Office.
- Paramitha, T.T. 2015. *Penentuan Tingkat Kerentanan Lereng dengan Metode Wilson & Keefer di Kecamatan Pleret, Dlingo & Piyungan, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta: Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-8 Universitas Gadjah Mada.
- Park, Tae H. 2010. *Introduction to Digital Signal Processing, Computer Musically Speaking*. Singapore: World Scientific Publishing.
- PemKab Bantul. 2016. *Data Pokok Pembangunan*. Diakses dari https://bantulkab.go.id/datapokok/0406_geologi.html pada tanggal 12 Februari 2017, pukul 09.52.
- PemKab Sleman. 2016. *Profil Kabupaten Sleman*. Diakses dari <http://www.slemankab.go.id/profil-kab-sleman/geografi/letak-dan-luas-wilayah> pada tanggal 12 Februari 2017, pukul 09.35.
- Proakis, John G., & Manolakis, Dimitris G. 1996. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.

- Raharjo, W., Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project.
- Sholahuddin, D.S. 2015. *SIG Untuk Memetakan Daerah Banjir dengan Metode Skoring dan Pembobotan (Studi Kasus Kabupaten Jepara)*. Semarang: Sistem Informasi, Fasilkom Udinus.
- Slob, Siefko. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis*. Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Subawa, E., Tohari, A., dan Sarah, D. 2007. *Studi Potensi Likuifaksi Di Daerah Zona Patahan Opak Patalan-Bantul*. Yogyakarta, Prosiding Seminar Geoteknologi Kontribusi | Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Berkelanjutan, Bandung. ISBN : 978-979-799-5.
- Sudrajat, Arif. 2017. *Analisis Litologi Lapisan Sedimen Berdasarkan Horizontal to Vertical Spectral Ratio dan Data Bor di Kawasan Jalur Sesar Opak*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Skripsi. USU
- TAIDE. 2010. *TDV-23S Feedback Short-Periode Seismometer Operator's Manual*. China: Zhuhai TAIDE Enterprise Co., Ltd
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 2004. *Aplied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thomson. 2006. *Geology of the Oceans*. Utah: Brooks/Cole Publishing Company.
- Toha, B., Purtyasti, R.D., Sriyono, Soetoto, Rahardjo, W., Subagyo, P. 1996. *Geologi Daerah Pegunungan Selatan Suatu Kontribusi*. Prosiding Geologi dan Geoteknik Pulau Jawa ISBN : 792-8611-00-4.
- Tokimatsu, K. 2004. *S-wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor H/V Spectrum*. Bulletin of the Seismological Society of America No.94(1).
- Van Loan, Charles. 1992. *Computational Frameworks for the Fast Fourier Transform*. Philadelphia: SIAM Publications.
- Wald d. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., and Kanamori, H. 1999. *Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. Earthquake Spectra, 15, No.3.
- Yaz, M Ali. 2007. *Fisika SMA Kelas XII SMA*. Yogyakarta: Yudhistira.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

Titik	Koordinat		Frekuensi Predominan (Hz)	Amplifikasi	Periode Predominan (s)
	mT	mU			
B1	432284,32	9127768,18	1,44	4,393	0,6944
B2	432518,76	9127014,52	3,24	4,998	0,3086
B3	432464,12	9127313,31	9,48	4,43	0,1055
B4	430959,83	9127047,03	3,6	4,781	0,2778
B5	430869,23	9124748,77	1,28	3,745	0,7813
B6	429517,65	9123798,12	2,84	2,283	0,3521
B7	428692,41	9124628,43	3	1,794	0,3333
B8	428798,36	9122301,16	1,76	2,656	0,5682
B9	429997,23	9126372,09	3,16	4,218	0,3165
C1	432089,44	9126366,39	3,12	4,415	0,3205
C9	431131,82	9124949,46	4,16	5,125	0,2404
C10	431235	9124873,51	2,64	5,411	0,3788
D2	428470,62	9119851,04	2,04	4,5	0,4902
D3	427202,33	9114954,22	3,4	3,431	0,2941
D5	422106,45	9114089,28	1,12	2,884	0,8929
D6	424092,74	9117573,07	1,2	5,011	0,8333
D7	421287,33	9116278,98	1,64	7,273	0,6098
D8	422679,37	9118915,83	1,72	3,084	0,5814
D9	422589,27	9117352,36	0,64	7,349	1,5625
Titik-1	426361,8	9121555,82	3,8	1,598	0,2632
Titik-4	427498	9121783,54	1,32	2,691	0,7576
Titik-5	427415,07	9122530,23	1,84	4,261	0,5435
Titik-9	428316,96	9121502,05	3,44	4,003	0,2907
Titik-11	428459,96	9123599,14	3,16	3,186	0,3165
Titik-13	429344,89	9124436,15	2,68	4,055	0,3731
Titik-19	429400,15	9125535,36	3,44	3,982	0,2907
Titik-23	430377,78	9121496,88	2,56	4,768	0,3906
Titik-24	430493,01	9122673,95	2,96	5,521	0,3378
Titik-25	431012,91	9123641,38	4,04	2,415	0,2475
Titik-26	430939,48	9124457,74	2,8	3,921	0,3571
Titik-28	430360,07	9126983,48	3,76	3,297	0,266
Titik-34	431433,94	9125502,15	5,24	7,72	0,1908

Titik-35	431361,65	9126543,86	2,04	5,501	0,4902
Titik-37	431445,39	9128543,05	3,32	3,234	0,3012
Titik-43	432579,05	9128495,16	2	3,6	0,5
Titik-48	433313,06	9129498,24	3,4	2,937	0,2941
TA1	425511,77	9117090,43	1	1,281	1
TA2	425774,83	9116509,69	4,48	2,39	0,2232
TA3	425594,59	9117106,6	2,8	1,079	0,3571
TA4	427669,29	9118151,41	4	0,9855	0,25
TA5	428648,18	9119185,94	1,96	5,847	0,5102
TA6	425382,05	9119358,52	1,2	3,881	0,8333
TA7	426575,3	9118455,35	1,2	5,835	0,8333
TA8	427661,29	9120291,08	1,12	4,049	0,8929
TA9	426994,71	9121058,58	1,08	3,479	0,9259
TA10	421949,11	9115652,7	0,6	2,58	1,6667
TA11	423093,47	9114582,65	1,16	4,214	0,8621
1	427937,8	9122354,2	1,4	5,876	0,7143
2	431956,7	9122316,8	18,64	8,5	0,0536
3	426049,9	9122339,2	2,64	3,11	0,3788
4	423986	9122313,1	1,2	3,848	0,8333
5	429450,8	9124617,1	0,92	3,949	1,087
6	431523,6	9124367,2	2,84	7,187	0,3521
7	425459,1	9124400,1	0,76	3,555	1,3158
8	430978,8	9126399	1,8	7,065	0,5556
9	434873,9	9126223,9	13,48	3,069	0,0742
10	428931,5	9126716,9	4,44	4,304	0,2252
11	432514,8	9128312,6	1,12	8,21	0,8929
12	430500,6	9128335,4	3,4	4,354	0,2941
13	428557,5	9128316,6	2,92	3,393	0,3425
14	433991,3	9130365,2	1,4	5,84	0,7143
15	436038,6	9130362,6	3,04	4,964	0,3289
16	438690,5	9131251,8	1,24	1,84	0,8065
17	431989,5	9130327,7	0,56	4,953	1,7857
18	429970,5	9130333,7	2,48	3,713	0,4032
19	436676	9132340	1,08	10,26	0,9259
20	438965,6	9132388,6	6,64	5,538	0,1506
21	432959,7	9132286,9	0,76	4,975	1,3158
22	438486,4	9134322,4	1,44	5,536	0,6944
23	440451,3	9134375,2	10,53	2,099	0,095
24	442489,3	9134344,6	7,64	4,345	0,1309

25	436491,8	9134307,3	1,04	11,35	0,9615
26	434404,4	9134337,8	0,88	4,191	1,1364
27	439977,3	9136329,2	0,8	9,551	1,25
28	441938,8	9136226,7	4,6	3,423	0,2174
30	437867,7	9136394,3	1,04	7,448	0,9615
31	435918,4	9136401,9	0,76	4,527	1,3158
32	441386,3	9138393,5	0,56	8,193	1,7857
33	443481,8	9138343	0,68	10,74	1,4706
34	445238,4	9137897,5	17,52	2,399	0,0571
36	442971,1	9140368,6	1,84	4,784	0,5435
38	446494,5	9139694,6	17,52	3,305	0,0571
40	438950,2	9140305,5	0,8	5,368	1,25
41	444502,3	9142343,7	1,56	4,588	0,641
43	448441,7	9142269	1,2	5,188	0,8333
45	440479,7	9142378,6	0,76	4,925	1,3158

Lampiran 2. Perhitungan Kriteria *Reliable H/V Curve*

Kurva H/V harus memenuhi kriteria *reliable* yang mengacu pada standar yang dibuat oleh SESAME *European Research Project* (2004), seperti bertikut ini:

- i. $f_0 > 10/l_w$.
- ii. $n_c(f_0) > 200$, dimana $n_c = l_w n_w f_0$.
- iii. $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0.5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5$ Hz atau $\sigma_A(f) < 3$ untuk $0.5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 < 0.5$ Hz.

Untuk puncak (*peak*) kurva H/V harus memenuhi kriteria *clear H/V peak*, seperti berikut ini:

- i. $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
- ii. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
- iii. $A_0 > 2$
- iv. $f_{peak} \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
- v. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- vi. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

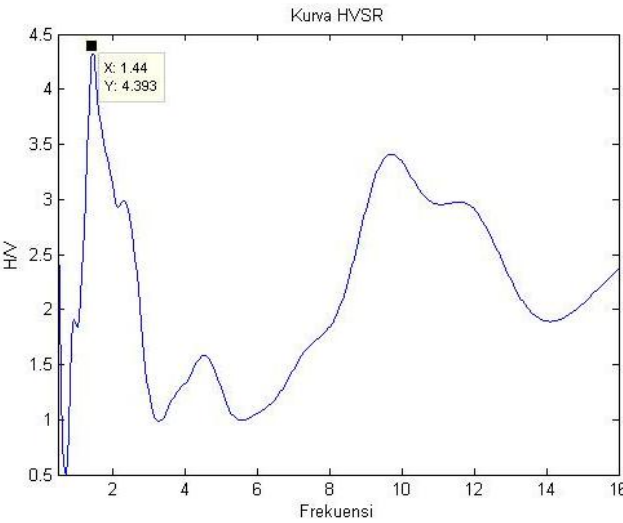
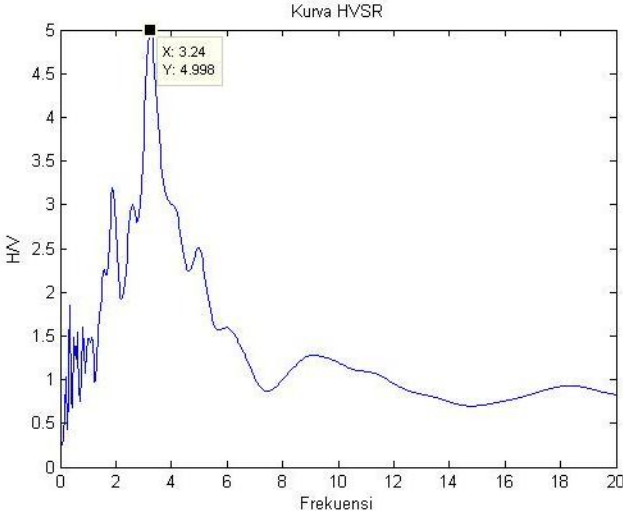
ID	N_w	f_0	A	l_w	$10/l_w$	n_c	$0,5f_0$	$2f_0$	<i>stdev</i>		$A/2$	$f_0/4$	$4f_0$	<i>kriteria reliable</i>			<i>kriteria clear peak</i>					
									f_0	A				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
B1	54	1,44	4,393	25	0,4	1944	0,72	2,88	0,64083	0,91368	2,1965	0,36	5,76	v	v	v	-	v	v	-	-	v
B2	52	3,24	4,998	25	0,4	4212	1,62	6,48	1,42604	0,89894	2,499	0,81	12,96	v	v	v	-	v	v	v	-	v
B3	33	9,48	4,43	25	0,4	7821	4,74	18,96	4,12805	1,18841	2,215	2,37	37,92	v	v	v	-	-	v	v	-	v
B4	55	3,6	4,781	25	0,4	4950	1,8	7,2	1,57616	1,12077	2,3905	0,9	14,4	v	v	v	-	v	v	v	-	v
B5	56	1,28	3,745	25	0,4	1792	0,64	2,56	0,57155	0,90261	1,8725	0,32	5,12	v	v	v	-	v	v	v	-	v
B6	61	2,84	2,283	25	0,4	4331	1,42	5,68	1,24129	0,54066	1,1415	0,71	11,36	v	v	v	-	v	v	v	-	v
B7	62	3	1,794	25	0,4	4650	1,5	6	1,31057	0,30661	0,897	0,75	12	v	v	v	-	-	-	v	-	v
B8	58	1,76	2,656	25	0,4	2552	0,88	3,52	0,7794	0,45595	1,328	0,44	7,04	v	v	v	-	v	v	v	-	v
B9	38	3,16	4,218	25	0,4	3002	1,58	6,32	1,37986	0,99458	2,109	0,79	12,64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
C1	35	3,12	4,415	25	0,4	2730	1,56	6,24	1,36831	0,56095	2,2075	0,78	12,48	v	v	v	-	-	v	v	-	v
C9	42	4,16	5,125	25	0,4	4368	2,08	8,32	1,81864	1,37136	2,5625	1,04	16,64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
C10	29	2,64	5,411	25	0,4	1914	1,32	5,28	1,1605	1,07454	2,7055	0,66	10,56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
D2	38	2,04	4,5	25	0,4	1938	1,02	4,08	0,89487	1,01985	2,25	0,51	8,16	v	v	v	-	v	v	v	-	v
D3	31	3,4	3,431	25	0,4	2635	1,7	6,8	1,66853	0,35666	1,7155	0,85	13,6	v	v	v	-	-	v	v	-	v
D5	59	1,12	2,884	25	0,4	1652	0,56	2,24	0,50226	0,55599	1,442	0,28	4,48	v	v	v	v	v	v	v	-	v
D6	50	1,2	5,011	25	0,4	1500	0,6	2,4	0,5369	1,04801	2,5055	0,3	4,8	v	v	v	v	v	v	v	-	v
D7	40	1,64	7,273	25	0,4	1640	0,82	3,28	0,72166	1,4383	3,6365	0,41	6,56	v	v	v	v	v	v	v	-	v
D8	26	1,72	3,084	25	0,4	1118	0,86	3,44	0,75631	0,75876	1,542	0,43	6,88	v	v	v	-	v	v	v	-	v
D9	62	0,64	7,349	25	0,4	992	0,32	1,28	0,29439	1,98055	3,6745	0,16	2,56	v	v	v	v	v	v	v	-	v
Titik-1	52	3,8	1,598	25	0,4	4940	1,9	7,6	1,65699	0,40307	0,799	0,95	15,2	v	v	v	-	v	-	v	-	-
Titik-4	11	1,32	2,691	25	0,4	363	0,66	2,64	0,60619	0,43575	1,3455	0,33	5,28	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-5	22	1,84	4,261	25	0,4	1012	0,92	3,68	0,61774	0,55658	2,1305	0,46	7,36	v	v	v	-	-	v	v	-	v
Titik-9	31	3,44	4,003	25	0,4	2666	1,72	6,88	1,50687	0,90167	2,0015	0,86	13,76	v	v	v	v	v	v	v	-	v

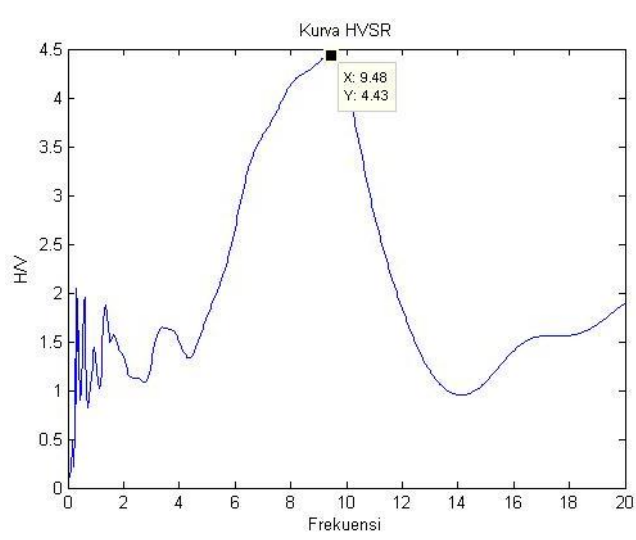
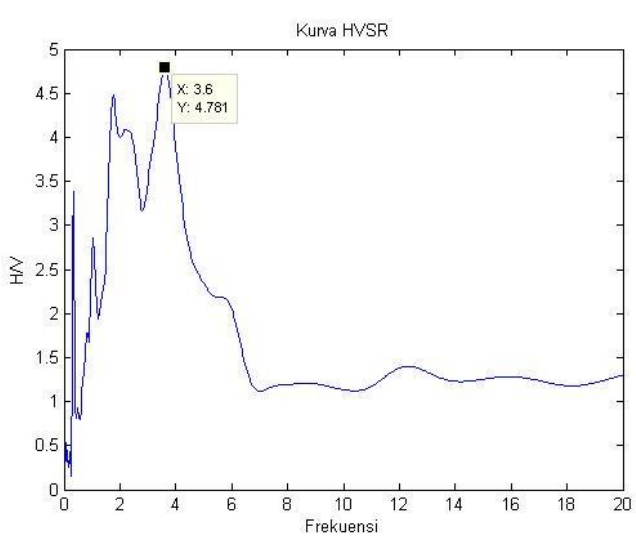
Titik-11	19	3,16	3,186	25	0,4	1501	1,58	6,32	1,37986	0,62484	1,593	0,79	12,64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-13	28	2,68	4,055	25	0,4	1876	1,34	5,36	1,17201	0,87873	2,0275	0,67	10,72	v	v	v	v	-	v	v	-	v
Titik-19	28	3,44	3,982	25	0,4	2408	1,72	6,88	1,50687	0,83026	1,991	0,86	13,76	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-23	26	2,56	4,768	25	0,4	1664	1,28	5,12	1,12582	1,12593	2,384	0,64	10,24	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-24	42	2,96	5,521	25	0,4	3108	1,48	5,92	1,29903	1,54818	2,7605	0,74	11,84	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-25	33	4,04	2,415	25	0,4	3333	2,02	8,08	1,76091	0,3793	1,2075	1,01	16,16	v	v	v	-	v	v	v	-	-
Titik-26	37	2,8	3,921	25	0,4	2590	1,4	5,6	1,2182	0,96481	1,9605	0,7	11,2	v	v	v	-	-	v	v	-	v
Titik-28	40	3,76	3,297	25	0,4	3760	1,88	7,52	1,64544	0,76467	1,6485	0,94	15,04	v	v	v	-	v	v	v	-	-
Titik-34	50	5,24	7,72	25	0,4	6550	2,62	10,48	2,28053	2,36885	3,86	1,31	20,96	v	v	-	-	v	v	v	-	-
Titik-35	47	2,04	5,501	25	0,4	2397	1,02	4,08	0,89487	0,94658	2,7505	0,51	8,16	v	v	v	v	v	v	v	-	v
Titik-37	23	3,32	3,234	25	0,4	1909	1,66	6,64	1,46068	0,68646	1,617	0,83	13,28	v	v	v	-	-	v	v	-	v
Titik-43	29	2	3,6	25	0,4	1450	1	4	0,88333	0,84172	1,8	0,5	8	v	v	v	-	v	v	v	-	v
Titik-48	40	3,4	2,937	25	0,4	3400	1,7	6,8	0,38678	0,08286	1,4685	0,85	13,6	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA1	17	1	1,281	25	0,4	425	0,5	2	0,44452	0,14614	0,6405	0,25	4	v	v	v	-	-	-	v	-	v
TA2	76	4,48	2,39	25	0,4	8512	2,24	8,96	1,95721	0,66507	1,195	1,12	17,92	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA3	16	2,8	1,079	25	0,4	1120	1,4	5,6	1,22974	0,18789	0,5395	0,7	11,2	v	v	v	-	v	-	v	-	v
TA4	74	4	0,9855	25	0,4	7400	2	8	1,74936	0,13026	0,4928	1	16	v	v	v	-	-	v	v	-	v
TA5	61	1,96	5,847	25	0,4	2989	0,98	3,92	0,86023	1,8547	2,9235	0,49	7,84	v	v	v	-	v	v	v	-	-
TA6	63	1,2	3,881	25	0,4	1890	0,6	2,4	0,5369	0,92266	1,9405	0,3	4,8	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA7	74	1,2	5,835	25	0,4	2220	0,6	2,4	0,5369	1,20749	2,9175	0,3	4,8	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA8	61	1,12	4,049	25	0,4	1708	0,56	2,24	0,50226	0,86529	2,0245	0,28	4,48	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA9	43	1,08	3,479	25	0,4	1161	0,54	2,16	0,47917	0,70795	1,7395	0,27	4,32	v	v	v	-	-	v	v	-	v
TA10	73	0,6	2,58	25	0,4	1095	0,3	1,2	0,27129	0,7329	1,29	0,15	2,4	v	v	v	-	v	v	v	-	v
TA11	77	1,16	4,214	25	0,4	2233	0,58	2,32	0,51381	0,90224	2,107	0,29	4,64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
1	36	1,4	5,876	25	0,4	1260	0,7	2,8	0,62929	1,44266	2,938	0,35	5,6	v	v	v	-	v	v	v	-	v

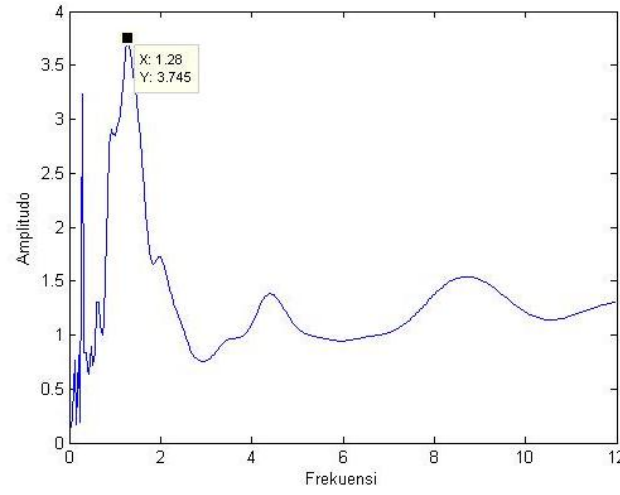
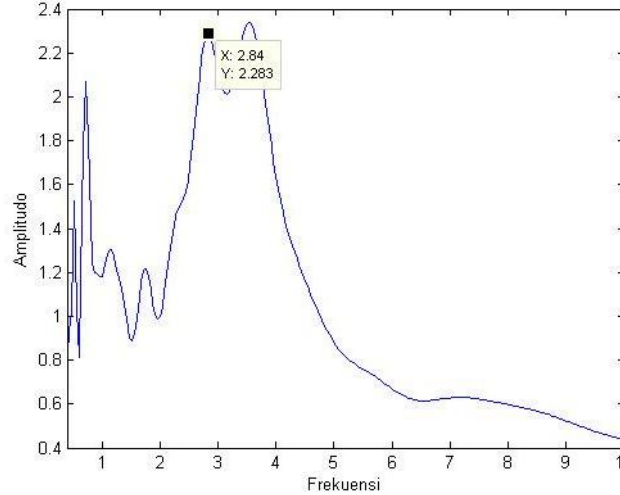
2	33	18,64	8,5	25	0,4	15378	9,32	37,28	8,12332	2,25851	4,25	4,66	74,56	v	v	-	-	v	v	v	-	v
3	35	2,64	3,11	25	0,4	2310	1,32	5,28	1,16046	0,70667	1,555	0,66	10,56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
4	51	1,2	3,848	25	0,4	1530	0,6	2,4	0,5369	0,73601	1,924	0,3	4,8	v	v	v	-	-	v	v	-	v
5	20	0,92	3,949	25	0,4	460	0,46	1,84	0,42143	0,78904	1,9745	0,23	3,68	v	v	v	-	v	v	v	-	v
6	72	2,84	7,187	25	0,4	5112	1,42	5,68	1,25284	1,62292	3,5935	0,71	11,36	v	v	v	-	v	v	v	-	v
7	50	0,76	3,555	25	0,4	950	0,38	1,52	0,35214	0,88239	1,7775	0,19	3,04	v	v	v	-	v	v	v	-	v
8	36	1,8	7,065	25	0,4	1620	0,9	3,6	0,8025	1,61846	3,5325	0,45	7,2	v	v	v	-	v	v	v	-	v
9	57	13,48	3,069	25	0,4	19209	6,74	26,96	5,8601	0,81757	1,5345	3,37	53,92	v	v	v	-	-	v	v	-	v
10	44	4,44	4,304	25	0,4	4884	2,22	8,88	1,94566	1,16232	2,152	1,11	17,76	v	v	v	-	v	v	v	-	v
11	35	1,12	8,21	25	0,4	980	0,56	2,24	0,50226	1,46236	4,105	0,28	4,48	v	v	v	-	v	v	-	-	v
12	42	3,4	4,354	25	0,4	3570	1,7	6,8	1,49533	0,64051	2,177	0,85	13,6	v	v	v	-	v	v	v	-	v
13	51	2,92	3,393	25	0,4	3723	1,46	5,84	1,28748	0,57755	1,6965	0,73	11,68	v	v	v	-	v	v	v	-	v
14	39	1,4	5,84	25	0,4	1365	0,7	2,8	0,61774	1,1288	2,92	0,35	5,6	v	v	v	-	v	v	v	-	v
15	26	3,04	4,964	25	0,4	1976	1,52	6,08	1,33367	0,96758	2,482	0,76	12,16	v	v	v	-	v	v	v	-	v
16	30	1,24	1,84	25	0,4	930	0,62	2,48	0,54845	0,2287	0,92	0,31	4,96	v	v	v	-	-	-	v	-	v
17	56	0,56	4,953	25	0,4	784	0,28	1,12	0,25974	0,75507	2,4765	0,14	2,24	v	v	v	-	-	v	-	-	v
18	41	2,48	3,713	25	0,4	2542	1,24	4,96	1,09118	0,87075	1,8565	0,62	9,92	v	v	v	-	v	v	v	-	v
19	30	1,08	10,26	25	0,4	810	0,54	2,16	0,47917	1,09202	5,13	0,27	4,32	v	v	v	v	v	v	v	-	v
20	24	6,64	5,538	25	0,4	3984	3,32	13,28	2,89252	1,08793	2,769	1,66	26,56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
21	34	0,76	4,975	25	0,4	646	0,38	1,52	0,34059	1,32128	2,4875	0,19	3,04	v	v	v	-	v	v	v	-	v
22	20	1,44	5,536	25	0,4	720	0,72	2,88	0,64083	1,08165	2,768	0,36	5,76	v	v	v	v	v	v	v	-	v
23	33	10,53	2,099	25	0,4	8687	5,265	21,06	4,56684	0,34932	1,0495	2,632	42,12	v	v	v	-	-	v	v	-	v
24	26	7,64	4,345	25	0,4	4966	3,82	15,28	3,31976	0,8714	2,1725	1,91	30,56	v	v	v	-	-	v	v	-	v
25	45	1,04	11,35	25	0,4	1170	0,52	2,08	1,03344	2,05219	5,675	0,26	4,16	v	v	-	-	v	v	-	-	-
26	53	0,88	4,191	25	0,4	1166	0,44	1,76	0,66393	0,88247	2,0955	0,22	3,52	v	v	v	-	v	-	-	-	v

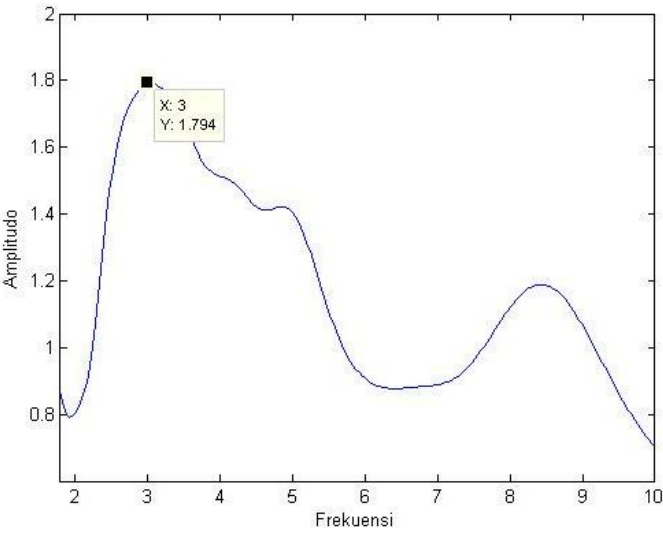
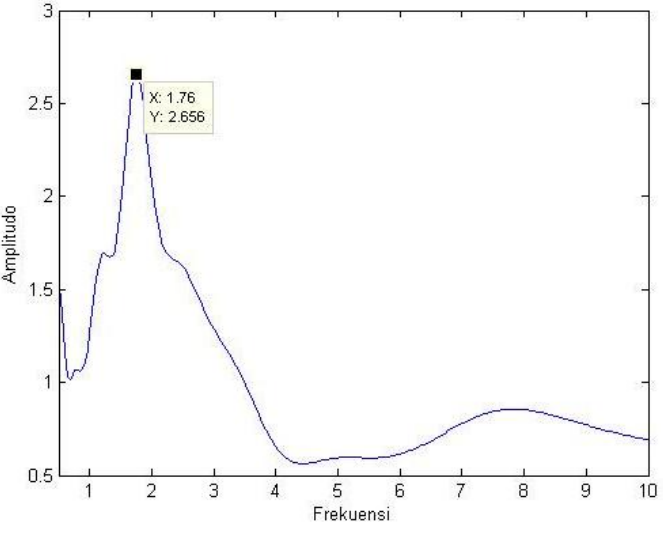
27	51	0,8	9,551	25	0,4	1020	0,4	1,6	0,95261	0,59107	4,7755	0,2	3,2	v	v	v	-	v	v	-	-	v
28	20	4,6	3,423	25	0,4	2300	2,3	9,2	0,25974	0,37726	1,7115	1,15	18,4	v	v	v	-	v	v	v	-	v
30	46	1,04	7,448	25	0,4	1196	0,52	2,08	0,46762	2,21746	3,724	0,26	4,16	v	v	-	-	v	v	-	-	-
31	70	0,76	4,527	25	0,4	1330	0,38	1,52	0,54845	0,67307	2,2635	0,19	3,04	v	v	v	-	-	v	-	-	v
32	62	0,56	8,193	25	0,4	868	0,28	1,12	0,40988	1,86908	4,0965	0,14	2,24	v	v	v	-	v	v	-	-	v
33	20	0,68	10,74	25	0,4	340	0,34	1,36	0,59464	2,52405	5,37	0,17	2,72	v	v	-	-	v	v	-	-	-
34	33	17,52	2,399	25	0,4	14454	8,76	35,04	0,68702	0,28738	1,1995	4,38	70,08	v	v	v	-	-	v	v	-	v
36	32	1,84	4,784	25	0,4	1472	0,92	3,68	0,60619	1,05975	2,392	0,46	7,36	v	v	v	-	v	v	v	-	v
38	29	17,52	3,305	25	0,4	12702	8,76	35,04	0,62929	0,82002	1,6525	4,38	70,08	v	v	v	-	-	v	v	v	v
40	32	0,8	5,368	25	0,4	640	0,4	1,6	0,76785	1,04482	2,684	0,2	3,2	v	v	v	-	v	v	-	-	v
41	45	1,56	4,588	25	0,4	1755	0,78	3,12	0,84869	1,03555	2,294	0,39	6,24	v	v	v	-	v	v	-	-	v
43	38	1,2	5,188	25	0,4	1140	0,6	2,4	0,86023	1,33436	2,594	0,3	4,8	v	v	v	-	v	v	-	-	v
45	12	0,76	4,925	25	0,4	228	0,38	1,52	0,94106	0,45682	2,4625	0,19	3,04	v	v	v	-	v	v	v	-	v

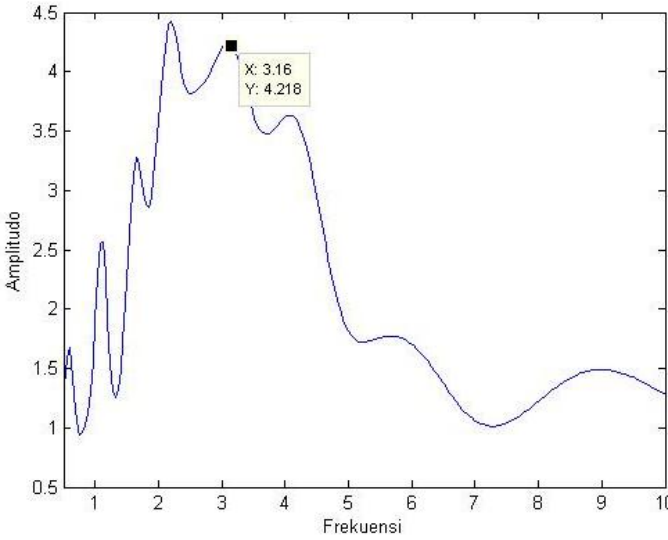
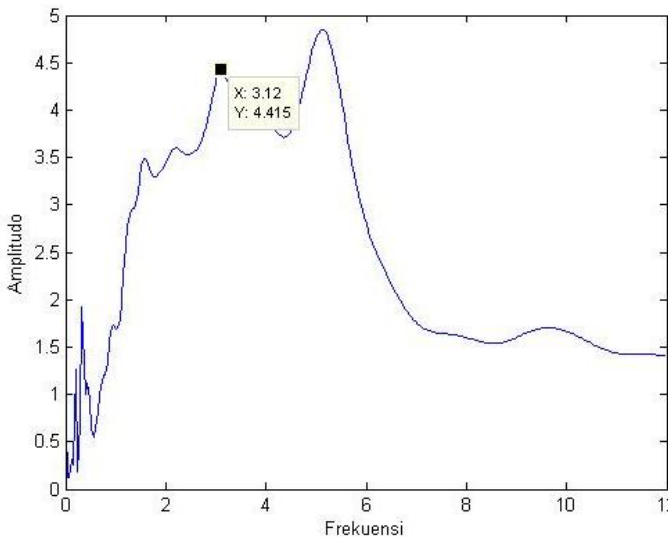
Lampiran 3. Kurva H/V pada 86 Titik Pengamatan

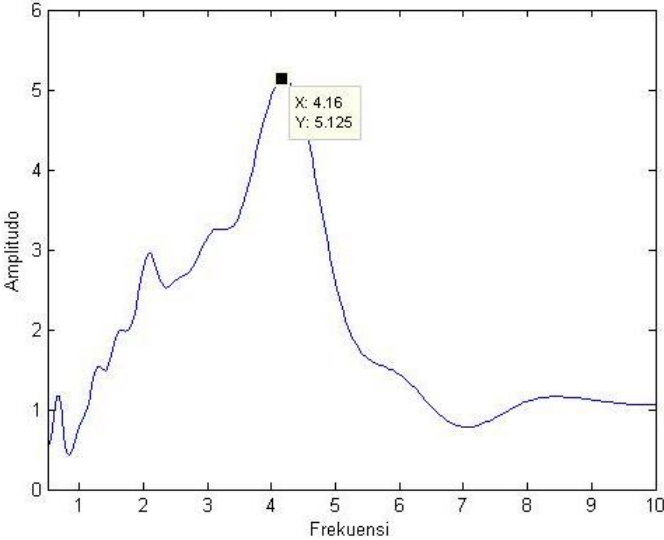
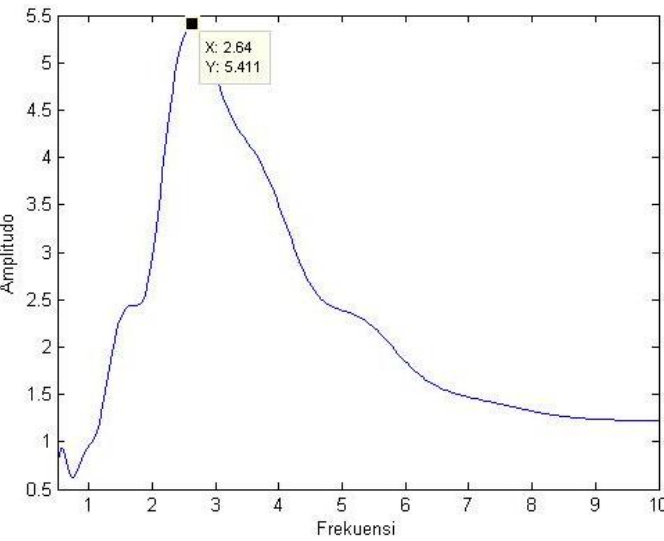
<p style="text-align: center;">B1</p> 	<p> $f_0 = 1,44$ $A = 4,393$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,44 > 0,4$ ii. $1944 > 200$ iii. $0,914 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,054 < 2,197$ ii. $1,860 < 2,197$ iii. $4,393 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,641 < 0,144$ vi. $0,914 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">B2</p> 	<p> $f = 3,24$ $A = 4,998$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,24 > 0,4$ ii. $4374 > 200$ iii. $0,899 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,471 < 2,499$ ii. $1,546 < 2,499$ iii. $4,998 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,426 < 0,162$ vi. $0,899 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

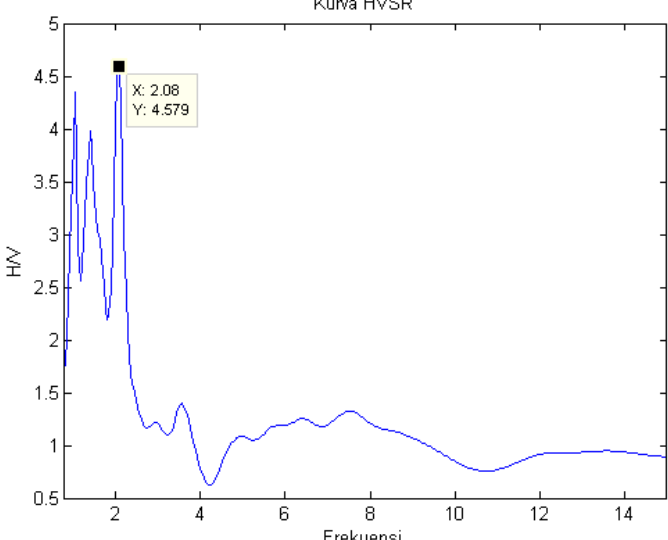
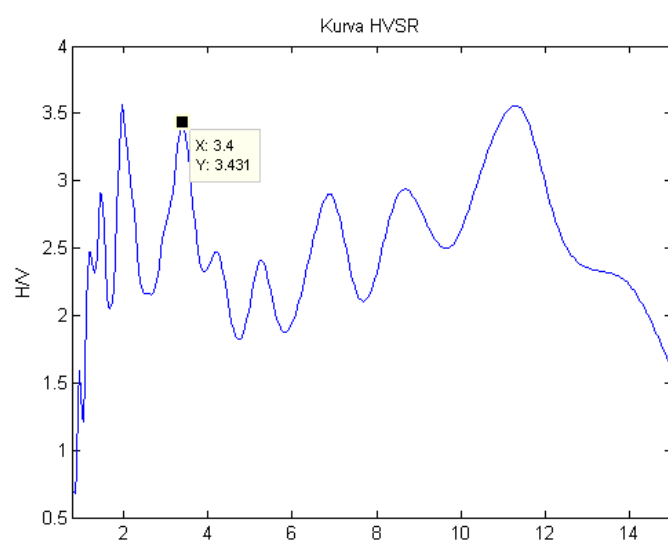
<p style="text-align: center;">B3</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 9.48 Y: 4.43</p>	<p> $f = 9,48$ $A = 4,430$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $9,48 > 0,4$ ii. $7821 > 200$ iii. $1,188 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,728 < 2,215$ ii. $2,389 < 2,215$ iii. $4,430 > 2$ iv. Terpenuhi v. $4,128 < 0,474$ vi. $1,188 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">B4</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 3.6 Y: 4.781</p>	<p> $f = 3,6$ $A = 4,781$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,6 > 0,4$ ii. $4950 > 200$ iii. $1,121 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,529 < 2,391$ ii. $1,618 < 2,391$ iii. $4,781 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,576 < 0,180$ vi. $1,121 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

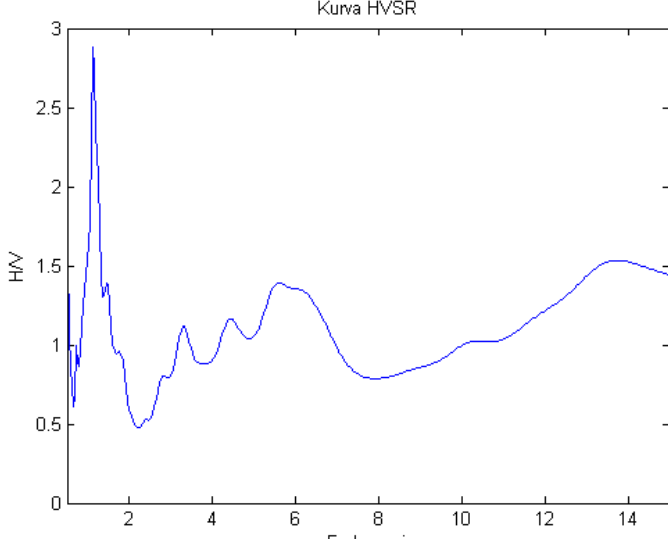
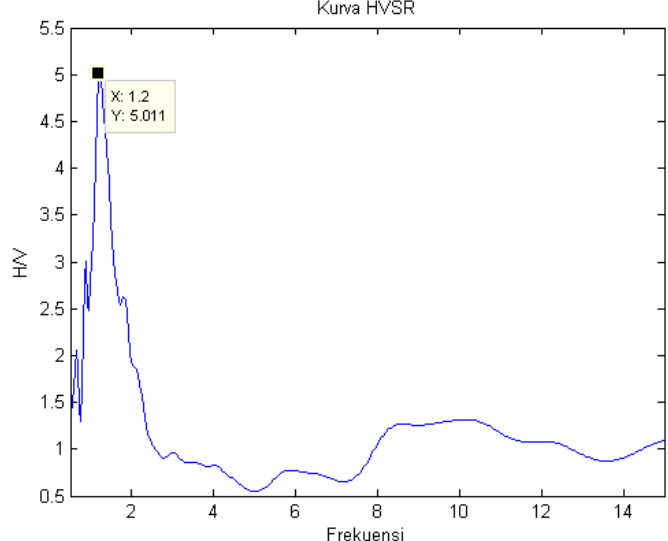
<p style="text-align: center;">B5</p> 	<p> $f = 1,28$ $A = 3,745$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,28 > 0,4$ ii. $1792 > 200$ iii. $0,903 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,199 < 1,873$ ii. $1,312 < 1,873$ iii. $3,745 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,572 < 0,128$ vi. $0,903 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">B6</p> 	<p> $f = 2,84$ $A = 2,283$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,84 > 0,4$ ii. $4331 > 200$ iii. $0,541 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,382 < 1,142$ ii. $0,829 < 1,142$ iii. $2,283 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,241 < 0,142$ vi. $0,541 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

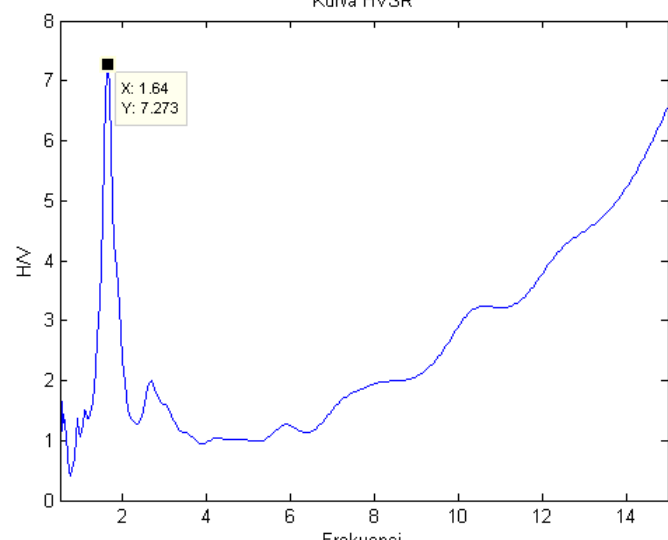
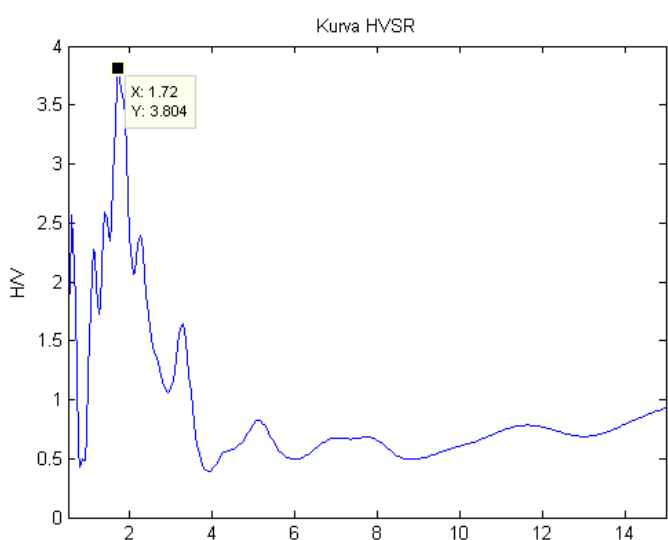
<p style="text-align: center;">B7</p> 	<p> $f = 3$ $A = 1,794$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3 > 0,4$ ii. $4650 > 200$ iii. $0,307 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,264 < 0,897$ ii. $1,017 < 0,897$ iii. $1,794 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,311 < 0,150$ vi. $0,307 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">B8</p> 	<p> $f = 1,76$ $A = 2,656$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,76 > 0,4$ ii. $2552 > 200$ iii. $0,456 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,675 < 1,328$ ii. $0,937 < 1,328$ iii. $2,656 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,779 < 0,176$ vi. $0,456 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava terpisahkan. </p>

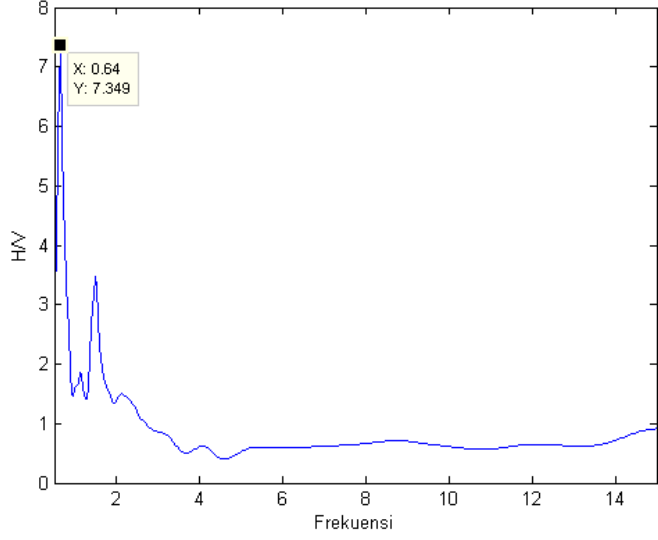
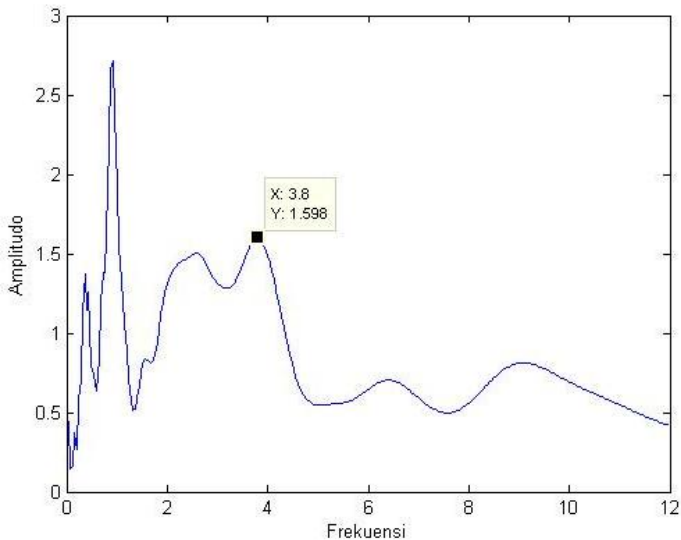
<p style="text-align: center;">B9</p> 	<p> $f = 3,16$ $A = 4,218$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,16 > 0,4$ ii. $3002 > 200$ iii. $0,995 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,239 < 2,109$ ii. $1,615 < 2,109$ iii. $4,218 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,380 < 0,158$ vi. $0,995 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">C1</p> 	<p> $f = 3,12$ $A = 4,415$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,12 > 0,4$ ii. $2730 > 200$ iii. $0,561 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,329 < 2,208$ ii. $2,353 < 2,208$ iii. $4,415 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,368 < 0,156$ vi. $0,561 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

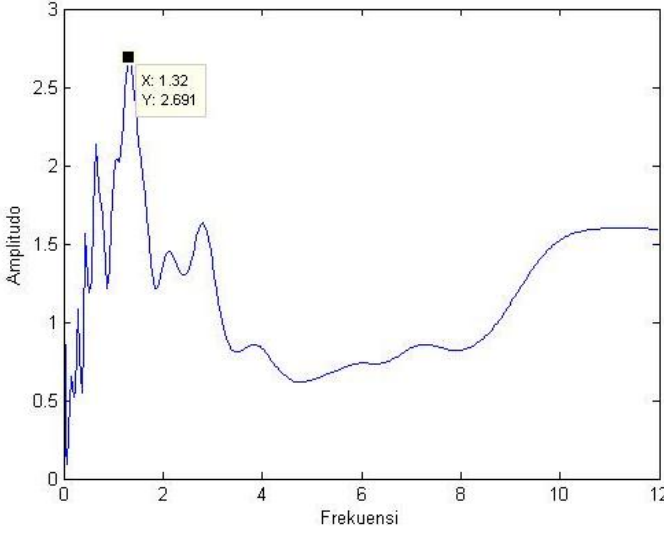
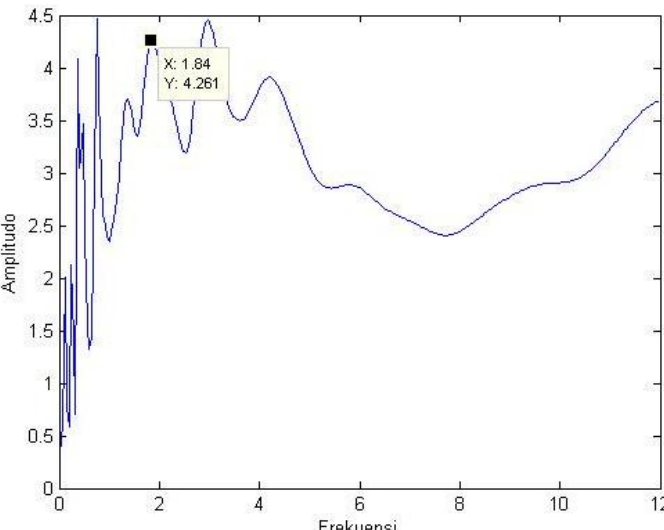
<p style="text-align: center;">C9</p> 	<p> $f = 4,16$ $A = 5,125$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4,16 > 0,4$ ii. $4368 > 200$ iii. $1,371 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,987 < 2,563$ ii. $1,457 < 2,563$ iii. $5,125 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,819 < 0,208$ vi. $1,371 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">C10</p> 	<p> $f = 2,64$ $A = 5,411$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,64 > 0,4$ ii. $1914 > 200$ iii. $1,075 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,833 < 2,706$ ii. $2,131 < 2,706$ iii. $5,411 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,160 < 0,132$ vi. $1,075 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

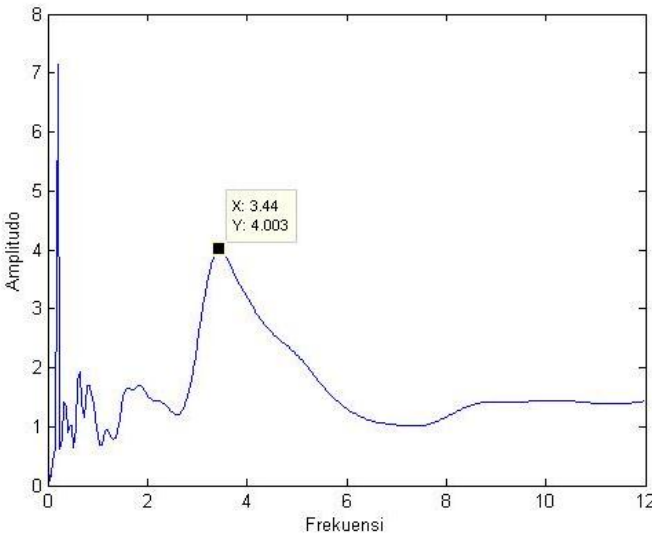
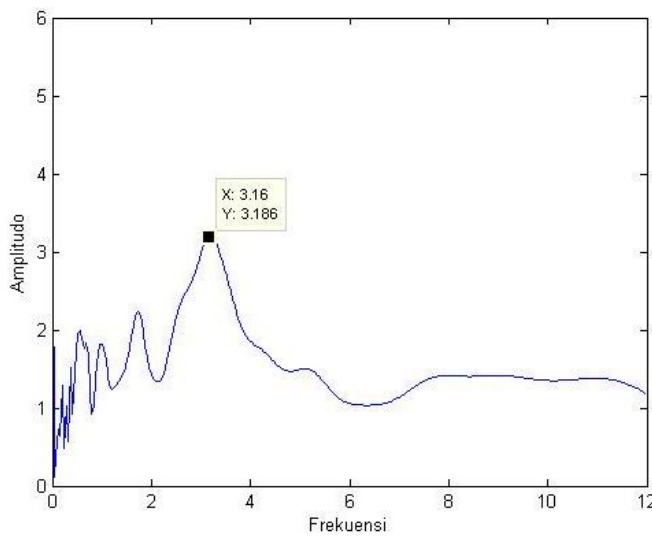
<p style="text-align: center;">D2</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p> X: 2.08 Y: 4.579 </p>	<p> $f = 2,08$ $A = 4,579$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,04 > 0,4$ ii. $1938 > 200$ iii. $1,020 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,870 < 2,250$ ii. $1,249 < 2,250$ iii. $4,5 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,895 < 0,102$ vi. $1,020 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">D3</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p> X: 3.4 Y: 3.431 </p>	<p> $f = 3,4$ $A = 3,431$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,4 > 0,4$ ii. $2635 > 200$ iii. $0,357 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,511 < 1,716$ ii. $2,601 < 1,716$ iii. $3,431 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,669 < 0,170$ vi. $0,357 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Wonosari Batuan Dasar : Batugamping terumbu, kalkarenit dan kalkarenit tufan. </p>

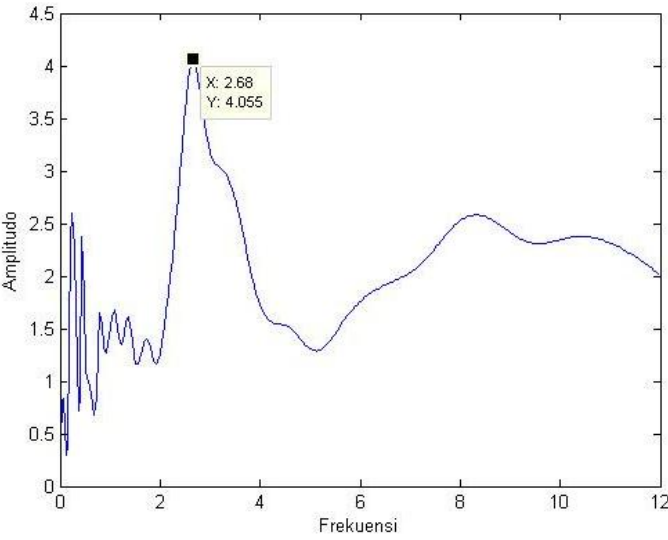
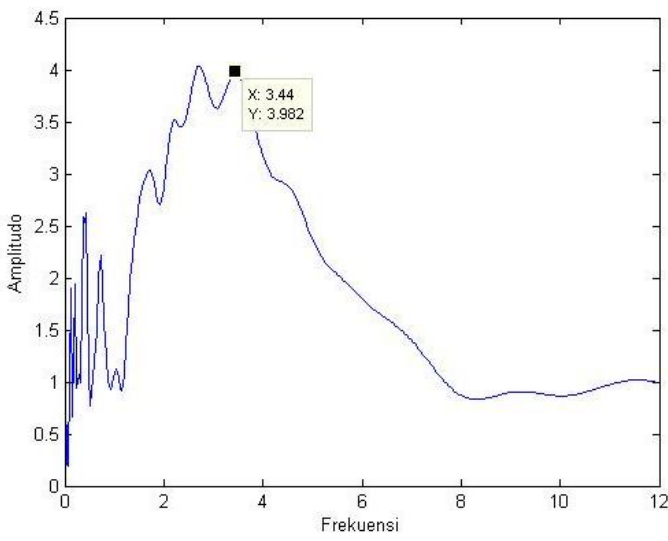
<p style="text-align: center;">D5</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 1,12$ $A = 2,884$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,12 > 0,4$ ii. $1652 > 200$ iii. $0,556 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,363 < 1,442$ ii. $0,968 < 1,442$ iii. $2,884 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $0,556 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Alluvium Batuan Dasar : Kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. </p>
<p style="text-align: center;">D6</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,011$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1500 > 200$ iii. $1,048 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,472 < 2,506$ ii. $1,101 < 2,506$ iii. $5,011 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,120$ vi. $1,048 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

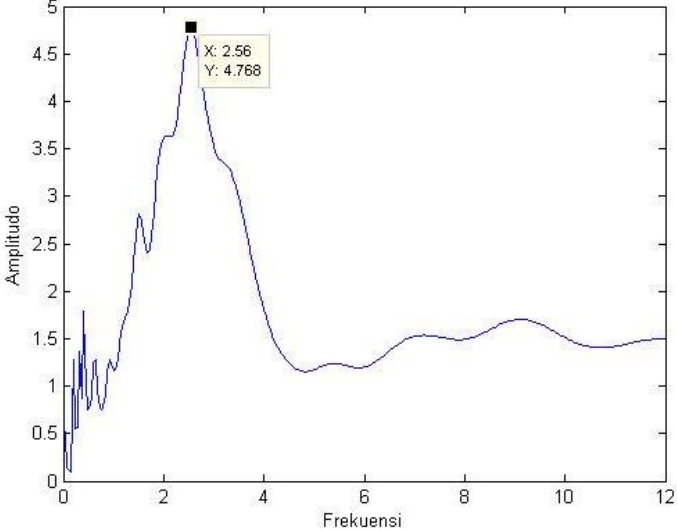
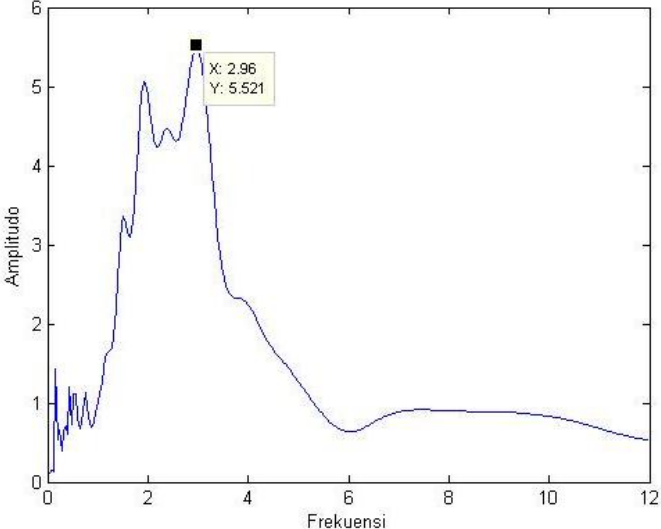
<p style="text-align: center;">D7</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the HVSR curve for station D7. The y-axis represents the HV ratio, ranging from 0 to 8. The x-axis represents frequency in Hz, ranging from 0 to 14. A prominent peak is observed at a frequency of 1.64 Hz, with an HV value of 7.273. The curve shows a sharp increase in HV at low frequencies, followed by a sharp drop and then a gradual increase towards higher frequencies.</p>	<p>$f = 1,64$ $A = 7,273$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,64 > 0,4$ ii. $1640 > 200$ iii. $1,438 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,188 < 3,637$ ii. $0,961 < 3,637$ iii. $7,273 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,722 < 0,164$ vi. $1,438 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">D8</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p>The graph shows the HVSR curve for station D8. The y-axis represents the HV ratio, ranging from 0 to 4. The x-axis represents frequency in Hz, ranging from 0 to 14. A prominent peak is observed at a frequency of 1.72 Hz, with an HV value of 3.804. The curve shows a sharp increase in HV at low frequencies, followed by a sharp drop and then a gradual increase towards higher frequencies.</p>	<p>$f = 1,72$ $A = 3,084$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,72 > 0,4$ ii. $1118 > 200$ iii. $0,759 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,978 < 1,542$ ii. $1,036 < 1,542$ iii. $3,084 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,756 < 0,172$ vi. $0,759 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

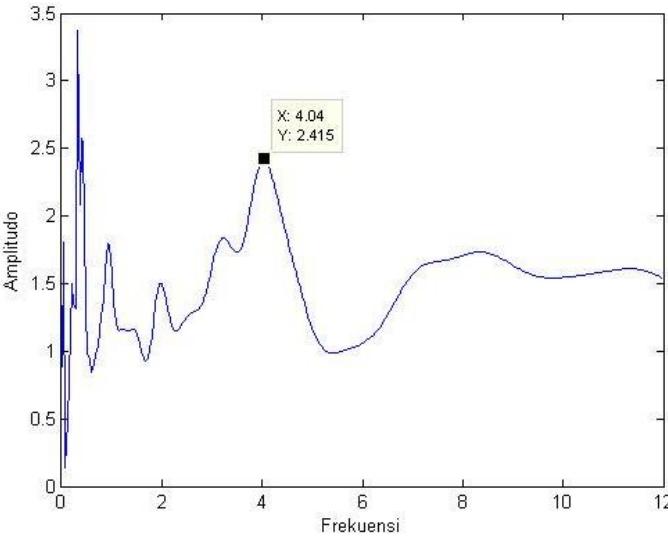
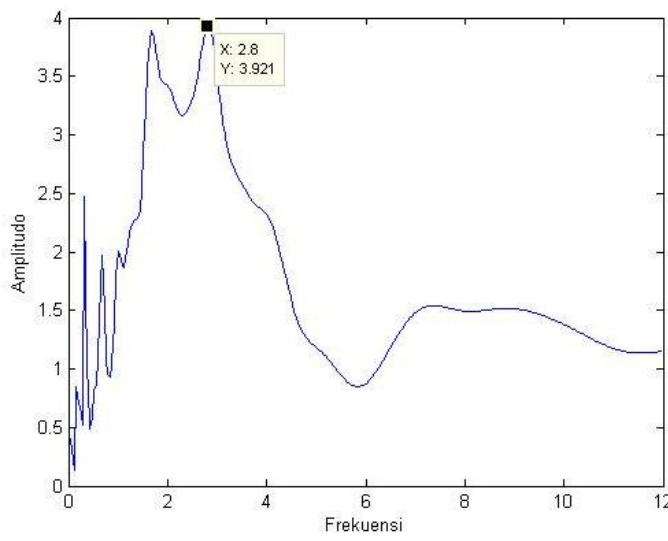
<p style="text-align: center;">D9</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 0,64$ $A = 7,349$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,64 > 0,4$ ii. $992 > 200$ iii. $1,980 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,674 < 1,542$ ii. $1,036 < 1,542$ iii. $3,084 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,756 < 0,172$ vi. $0,759 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-1</p> 	<p> $f = 3,8$ $A = 1,598$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,8 > 0,4$ ii. $18772 > 200$ iii. $0,403 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,268 < 0,799$ ii. $0,585 < 0,799$ iii. $1,598 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,657 < 0,190$ vi. $0,403 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

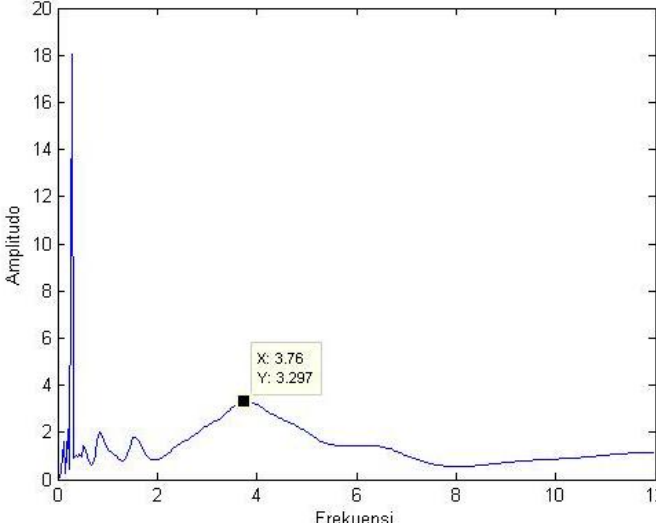
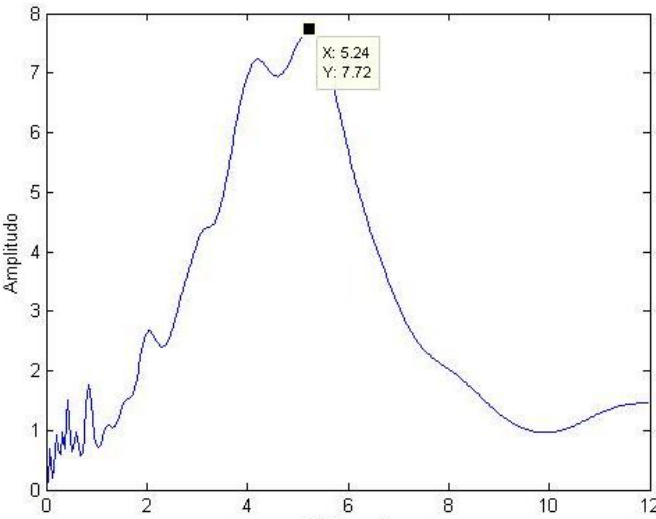
<p style="text-align: center;">Titik-4</p> 	<p> $f = 1,32$ $A = 2,691$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,32 > 0,4$ ii. $479,16 > 200$ iii. $0,436 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,740 < 1,346$ ii. $1,126 < 1,346$ iii. $2,691 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,606 < 0,132$ vi. $0,436 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-5</p> 	<p> $f = 1,84$ $A = 4,261$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,84 > 0,4$ ii. $1862,08 > 200$ iii. $0,557 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,128 < 2,131$ ii. $3,308 < 2,131$ iii. $4,261 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,618 < 0,184$ vi. $0,557 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

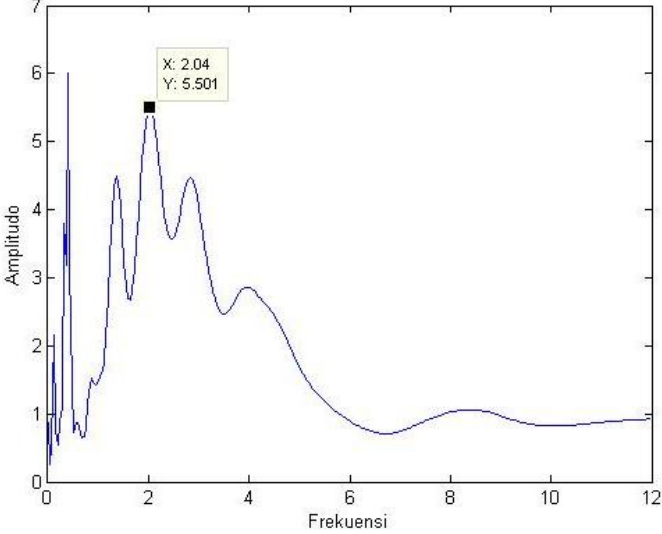
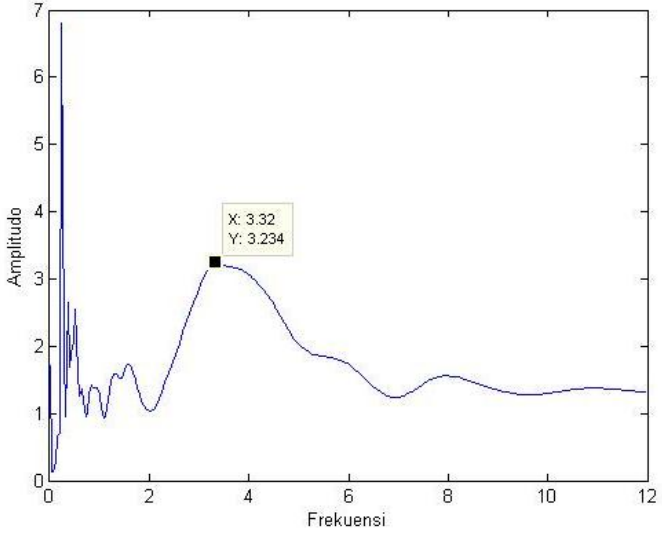
<p style="text-align: center;">Titik-9</p> 	<p> $f = 3,44$ $A = 4,003$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,44 > 0,4$ ii. $9171,04 > 200$ iii. $0,902 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,728 < 2,002$ ii. $1,629 < 2,002$ iii. $4,003 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,507 < 0,172$ vi. $0,902 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-11</p> 	<p> $f = 3,16$ $A = 3,186$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,16 > 0,4$ ii. $4743,16 > 200$ iii. $0,625 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,922 < 1,593$ ii. $1,433 < 1,593$ iii. $3,186 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,380 < 0,158$ vi. $0,625 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

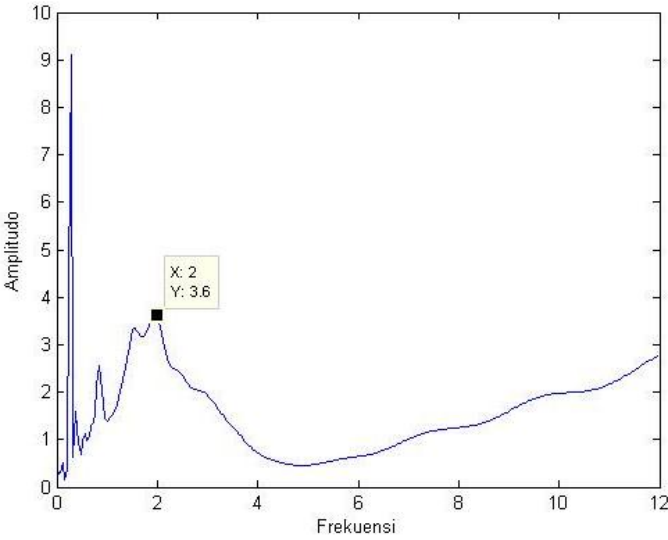
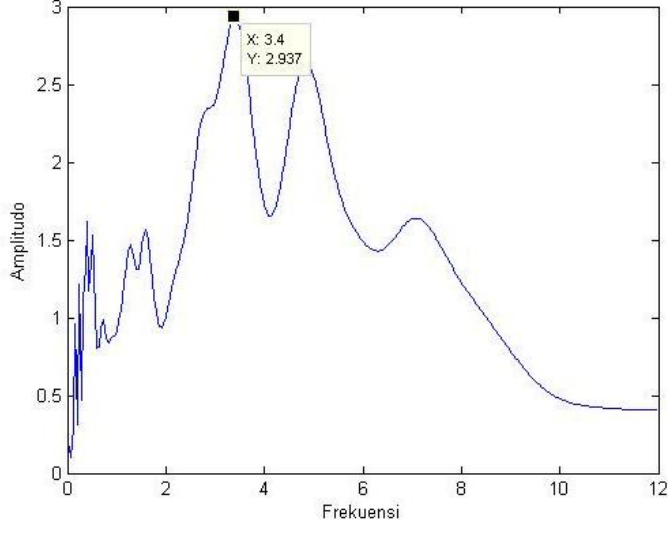
<p style="text-align: center;">Titik-13</p> 	<p> $f = 2,68$ $A = 4,055$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,68 > 0,4$ ii. $5027,68 > 200$ iii. $0,879 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,811 < 2,028$ ii. $2,180 < 2,028$ iii. $4,055 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,172 < 0,134$ vi. $0,879 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-19</p> 	<p> $f = 3,44$ $A = 3,982$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,44 > 0,4$ ii. $8283 > 200$ iii. $0,830 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,993 < 1,991$ ii. $1,426 < 1,991$ iii. $3,982 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,507 < 0,172$ vi. $0,830 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

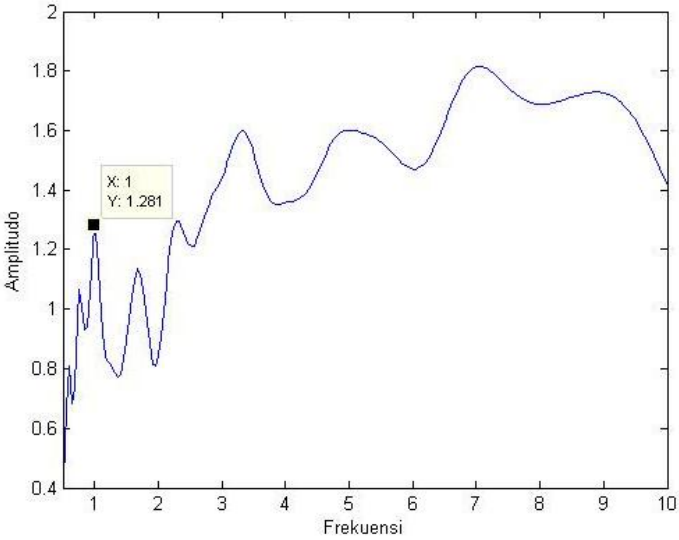
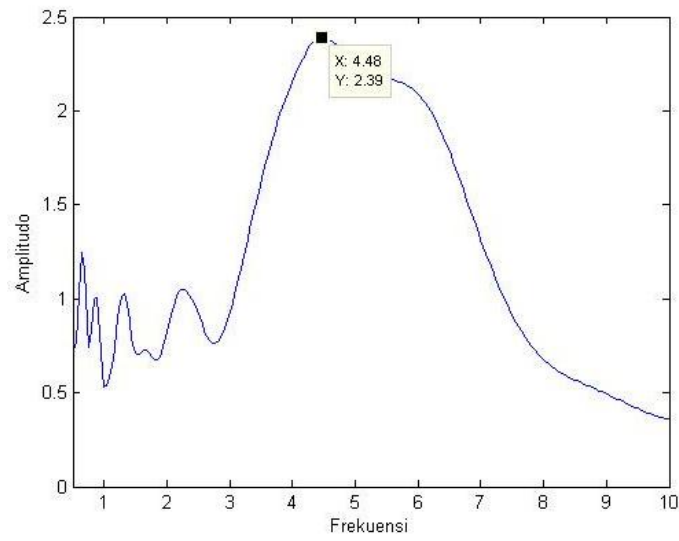
<p style="text-align: center;">Titik-23</p> 	<p> $f = 2,56$ $A = 4,768$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,56 > 0,4$ ii. $4259,84 > 200$ iii. $1,126 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,828 < 2,384$ ii. $1,786 < 2,384$ iii. $4,768 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,126 < 0,128$ vi. $1,126 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-24</p> 	<p> $f = 2,96$ $A = 5,521$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,96 > 0,4$ ii. $9199,68 > 200$ iii. $1,548 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,437 < 2,761$ ii. $1,218 < 2,761$ iii. $5,521 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,299 < 0,148$ vi. $1,548 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

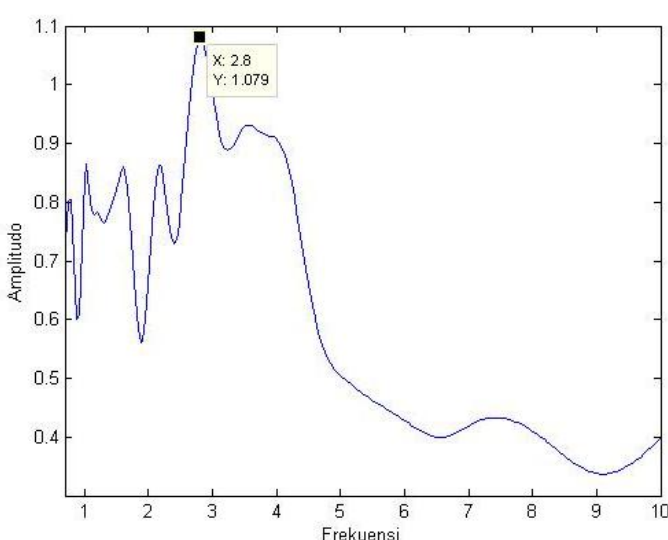
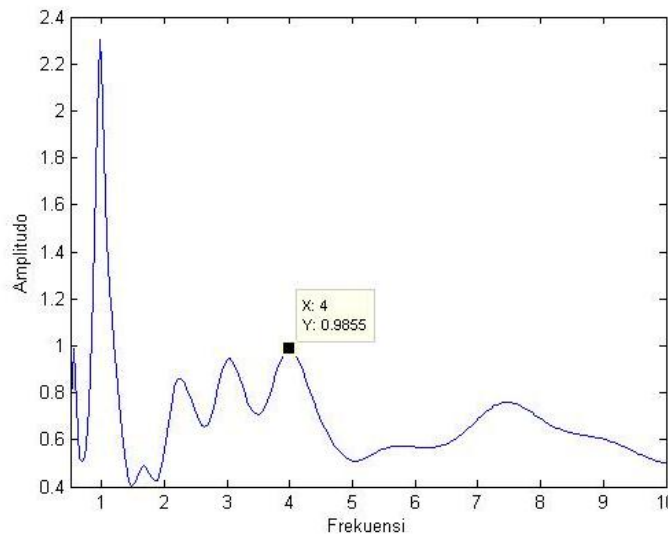
<p style="text-align: center;">Titik-25</p> 	<p> $f = 4,04$ $A = 2,415$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4,04 > 0,4$ ii. $13465,32 > 200$ iii. $0,379 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,482 < 1,208$ ii. $1,461 < 1,208$ iii. $2,415 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,761 < 0,202$ vi. $0,379 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-26</p> 	<p> $f = 2,8$ $A = 3,921$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,8 > 0,4$ ii. $7252 > 200$ iii. $0,965 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,840 < 1,961$ ii. $1,591 < 1,961$ iii. $3,921 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,218 < 0,140$ vi. $0,965 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

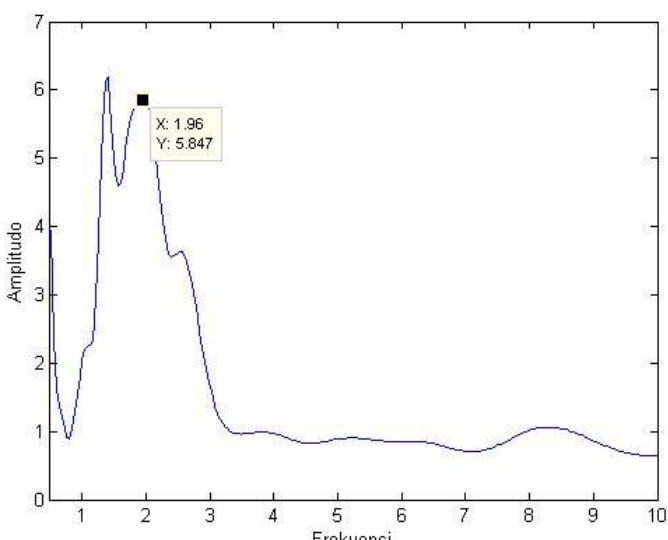
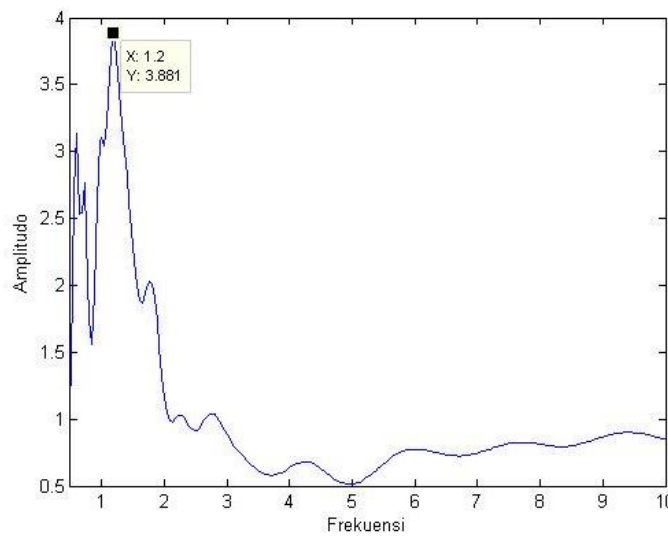
<p style="text-align: center;">Titik-28</p> 	<p> $f = 3,76$ $A = 3,297$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,76 > 0,4$ ii. $14137,6 > 200$ iii. $0,765 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,760 < 1,649$ ii. $1,211 < 1,649$ iii. $3,297 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,645 < 0,188$ vi. $0,765 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-34</p> 	<p> $f = 5,24$ $A = 7,72$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $5,24 > 0,4$ ii. $34322 > 200$ iii. $2,369 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $4,667 < 3,860$ ii. $1,721 < 3,860$ iii. $7,720 > 2$ iv. Terpenuhi v. $2,281 < 0,262$ vi. $2,369 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

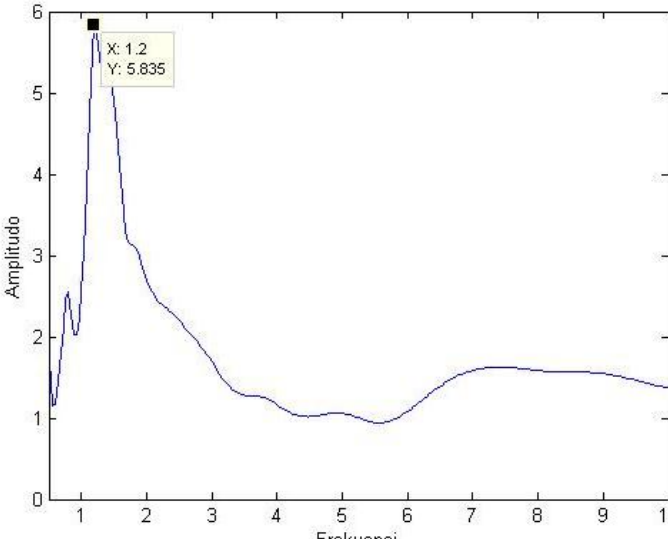
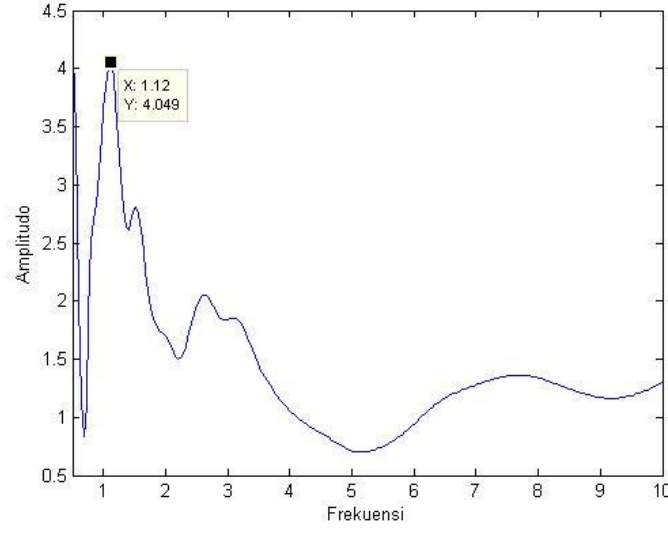
<p style="text-align: center;">Titik-35</p> 	<p> $f = 2,04$ $A = 5,501$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,04 > 0,4$ ii. $4889,88 > 200$ iii. $0,947 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,750 < 2,751$ ii. $2,025 < 2,751$ iii. $5,501 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,895 < 0,102$ vi. $0,947 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-37</p> 	<p> $f = 3,32$ $A = 3,324$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,32 > 0,4$ ii. $6338 > 200$ iii. $0,686 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,804 < 1,617$ ii. $1,663 < 1,617$ iii. $3,324 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,461 < 0,166$ vi. $0,686 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

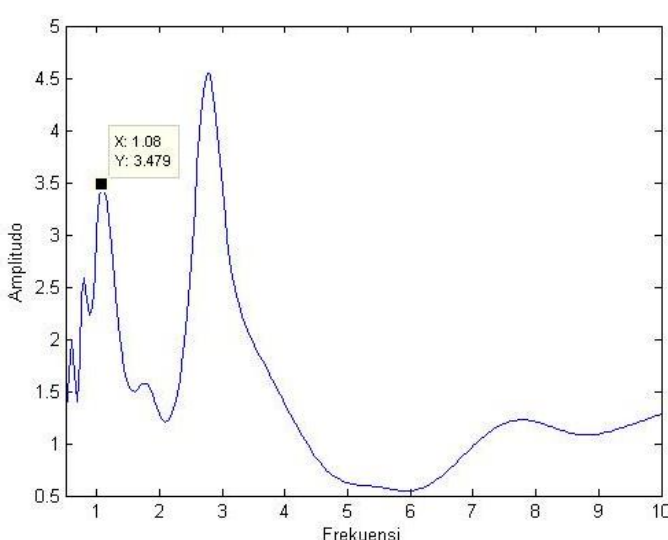
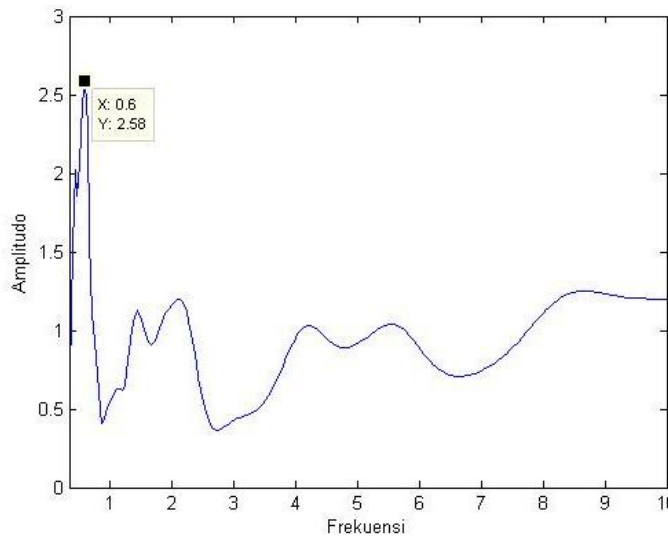
<p style="text-align: center;">Titik-43</p> 	<p> $f = 2$ $A = 3,6$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2 > 0,4$ ii. $2900 > 200$ iii. $0,842 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,355 < 1,800$ ii. $1,134 < 1,800$ iii. $3,600 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,883 < 0,020$ vi. $0,842 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik-48</p> 	<p> $f = 3,4$ $A = 2,937$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,4 > 0,4$ ii. $11560 > 200$ iii. $0,083 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,675 < 1,469$ ii. $1,141 < 1,469$ iii. $2,937 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,387 < 0,170$ vi. $0,083 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

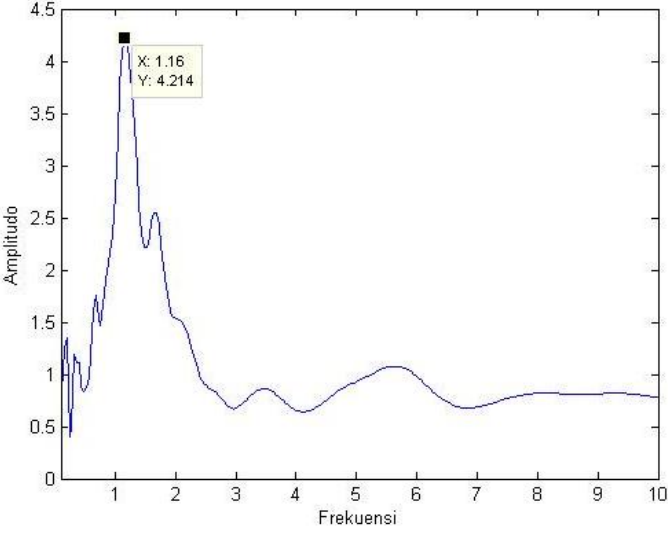
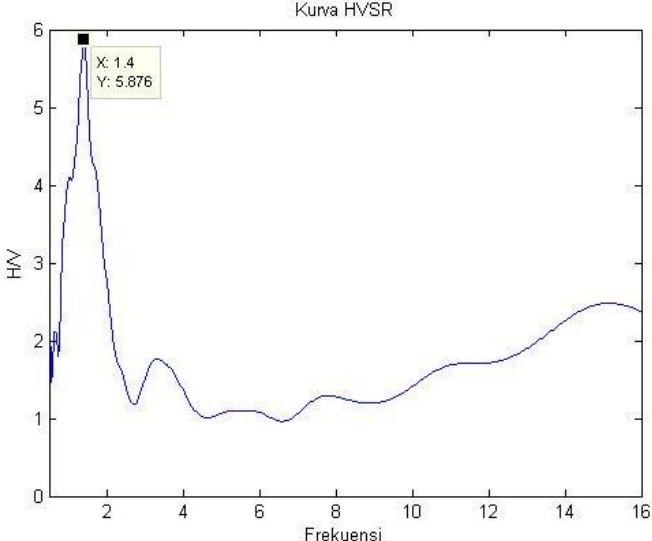
<p style="text-align: center;">TA1</p> 	<p> $f = 1$ $A = 1,281$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1 > 0,4$ ii. $425 > 200$ iii. $0,146 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,023 < 0,641$ ii. $1,223 < 0,641$ iii. $1,281 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,445 < 0,150$ vi. $0,146 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA2</p> 	<p> $f = 4,48$ $A = 2,390$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4,48 > 0,4$ ii. $8512 > 200$ iii. $0,665 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,321 < 1,195$ ii. $0,745 < 1,195$ iii. $2,390 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,957 < 0,224$ vi. $0,665 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

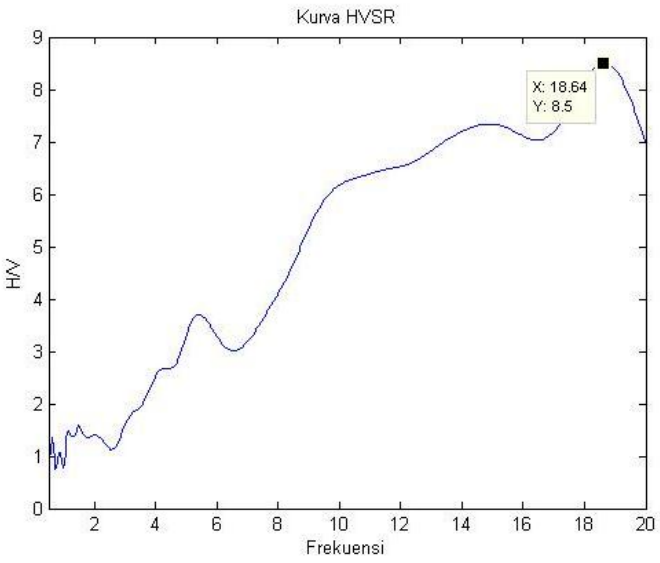
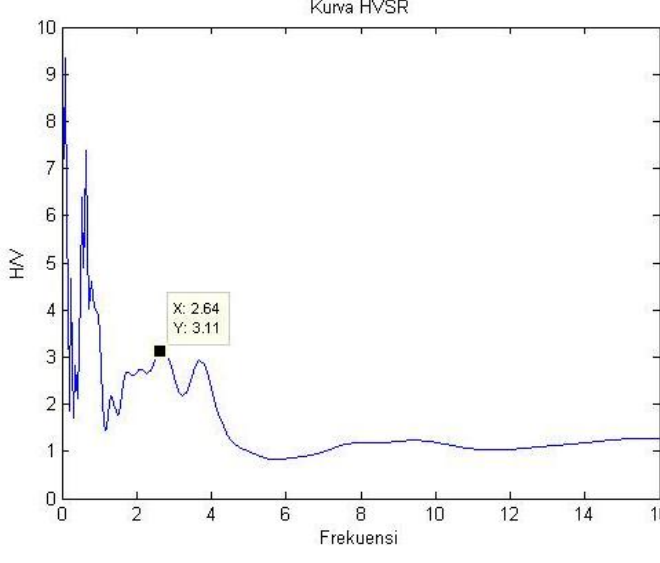
<p style="text-align: center;">TA3</p> 	<p> $f = 2,8$ $A = 1,079$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,8 > 0,4$ ii. $1120 > 200$ iii. $0,188 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $0,800 < 0,540$ ii. $0,522 < 0,540$ iii. $1,079 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,230 < 0,140$ vi. $0,188 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA4</p> 	<p> $f = 4$ $A = 0,986$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4 > 0,4$ ii. $7400 > 200$ iii. $0,130 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $0,753 < 0,493$ ii. $0,6 < 0,493$ iii. $0,986 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,749 < 0,2$ vi. $0,130 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

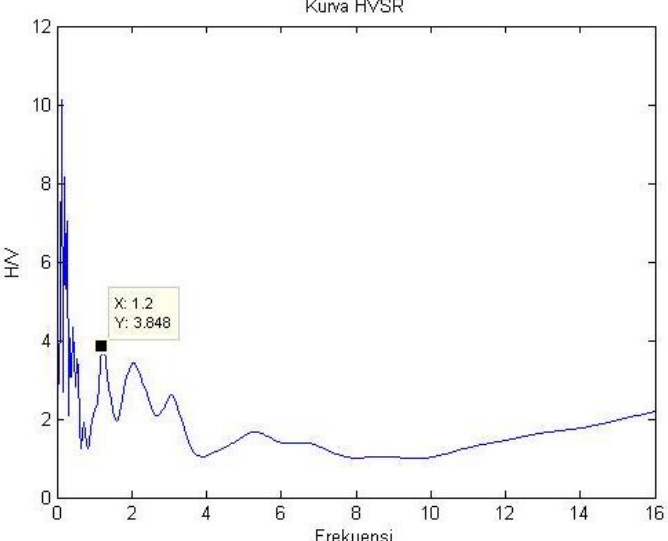
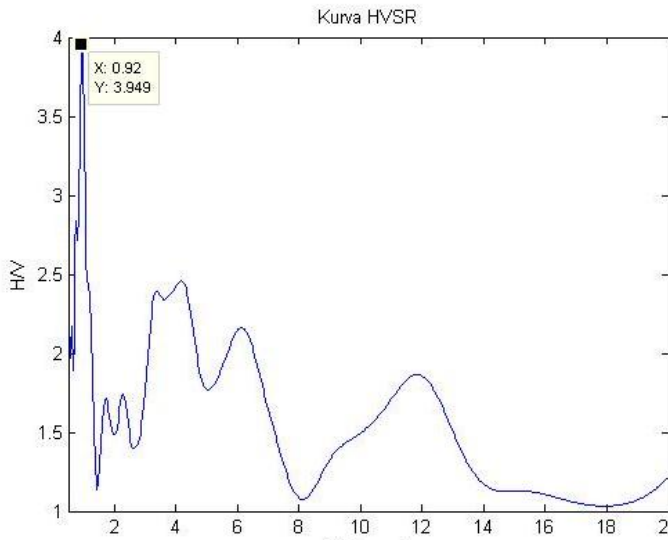
<p style="text-align: center;">TA5</p> 	<p> $f = 1,96$ $A = 5,847$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,96 > 0,4$ ii. $2989 > 200$ iii. $1,855 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,746 < 2,924$ ii. $1,333 < 2,924$ iii. $5,847 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,860 < 0,196$ vi. $1,855 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA6</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 3,881$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1890 > 200$ iii. $0,923 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,599 < 1,941$ ii. $1,051 < 1,941$ iii. $3,881 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,162$ vi. $0,923 < 1,570$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

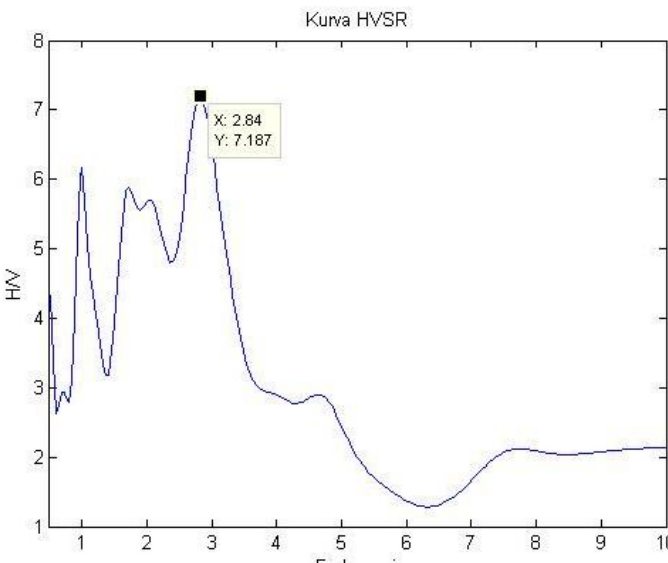
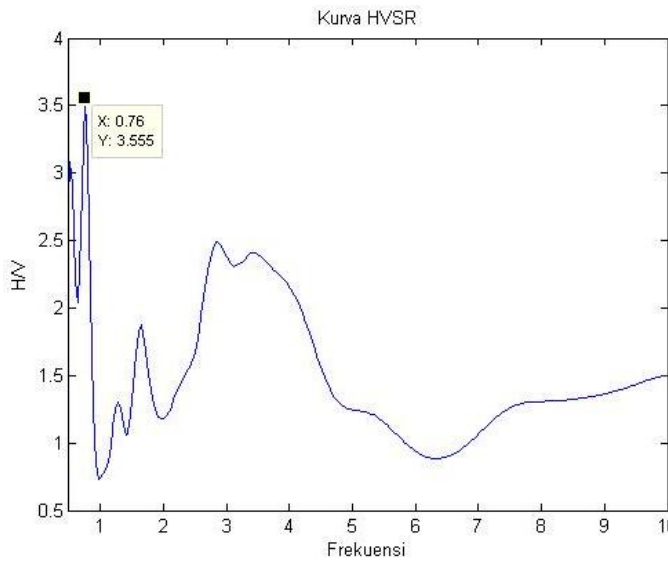
<p style="text-align: center;">TA7</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,835$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,2 > 0,4$ ii. $2220 > 200$ iii. $1,207 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,806 < 2,918$ ii. $2,034 < 2,918$ iii. $5,835 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,120$ vi. $1,207 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA8</p> 	<p> $f = 1,12$ $A = 4,049$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,12 > 0,4$ ii. $1708 > 200$ iii. $0,865 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,340 < 2,025$ ii. $1,715 < 2,025$ iii. $4,049 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $0,865 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

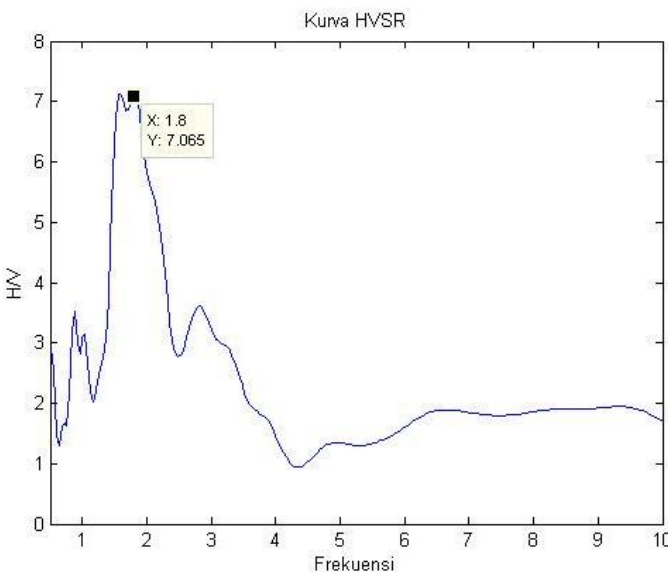
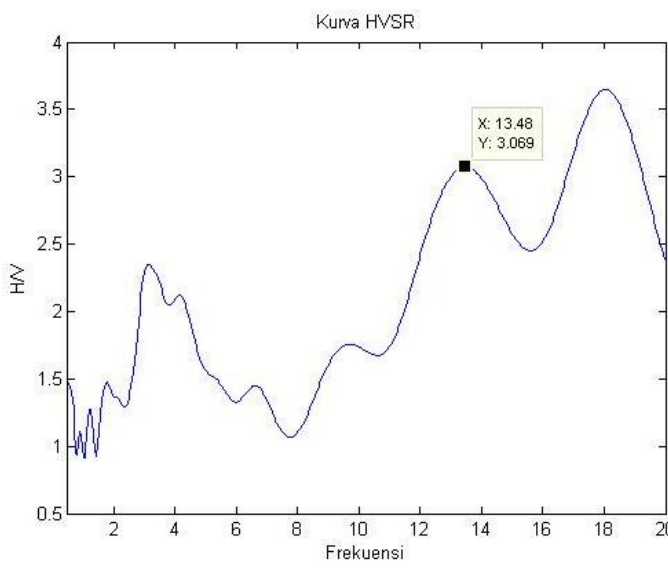
<p style="text-align: center;">TA9</p> 	<p> $f = 1,08$ $A = 3,479$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,08 > 0,4$ ii. $1161 > 200$ iii. $0,708 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,268 < 1,740$ ii. $2,114 < 1,740$ iii. $3,479 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,479 < 0,108$ vi. $0,708 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA10</p> 	<p> $f = 0,6$ $A = 2,580$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,6 > 0,4$ ii. $1095 > 200$ iii. $0,733 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,326 < 1,290$ ii. $0,907 < 1,290$ iii. $2,580 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,271 < 0,090$ vi. $0,733 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

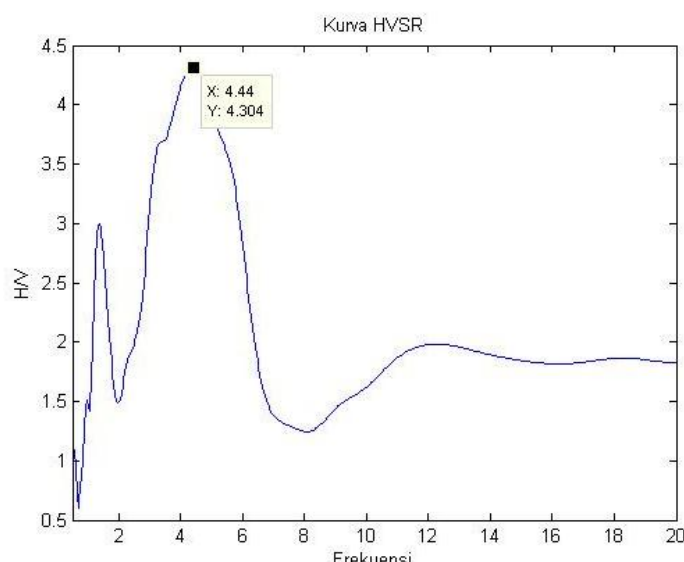
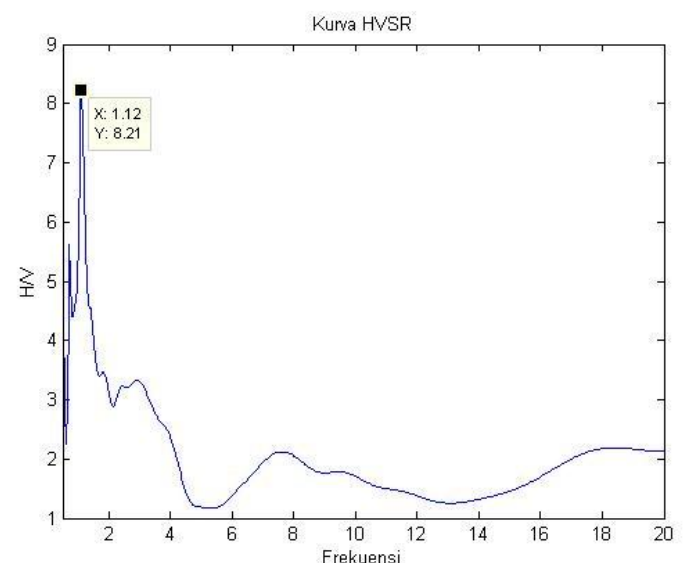
<p style="text-align: center;">TA11</p>  <p>Amplitudo</p> <p>Frekuensi</p> <p>X: 1.16 Y: 4.214</p>	<p>$f = 1,16$ $A = 4,214$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,16 > 0,4$ ii. $2233 > 200$ iii. $0,902 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,211 < 2,107$ ii. $1,198 < 2,107$ iii. $4,214 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,514 < 0,116$ vi. $0,902 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">1</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>H/V</p> <p>Frekuensi</p> <p>X: 1.4 Y: 5.876</p>	<p>$f = 1,4$ $A = 5,876$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,4 > 0,4$ ii. $1260 > 200$ iii. $1,443 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,361 < 2,938$ ii. $1,522 < 2,938$ iii. $5,876 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,629 < 0,140$ vi. $1,443 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

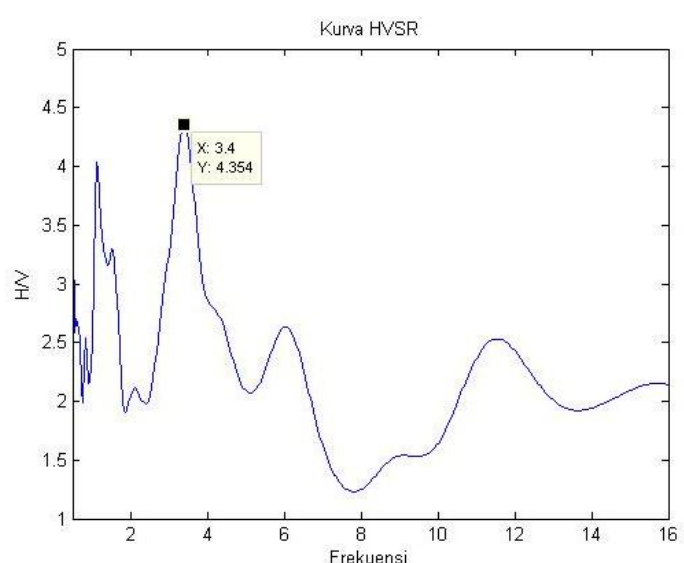
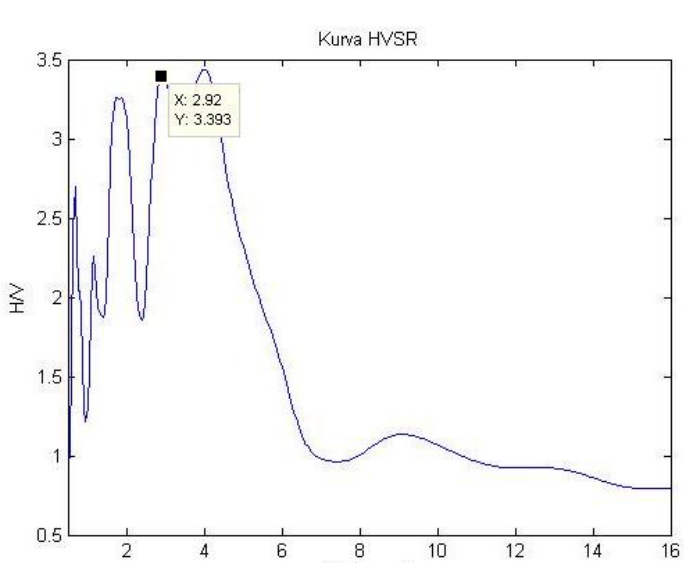
<p style="text-align: center;">2</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p>	<p>$f = 18,64$ $A = 8,5$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $18,64 > 0,4$ ii. $15378 > 200$ iii. $2,259 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $5,929 < 4,250$ ii. $3,452 < 4,250$ iii. $8,5 > 2$ iv. Terpenuhi v. $8,123 < 0,932$ vi. $2,259 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">3</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p>	<p>$f = 2,64$ $A = 3,110$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,64 > 0,4$ ii. $2310 > 200$ iii. $0,707 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,865 < 1,555$ ii. $1,390 < 1,555$ iii. $3,110 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,160 < 0,132$ vi. $0,707 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

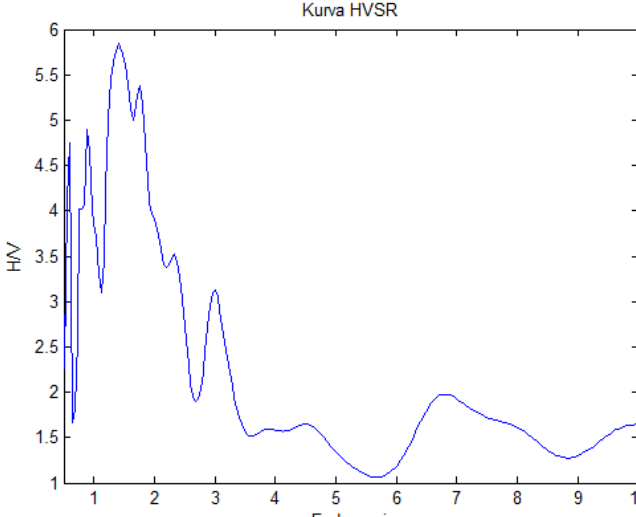
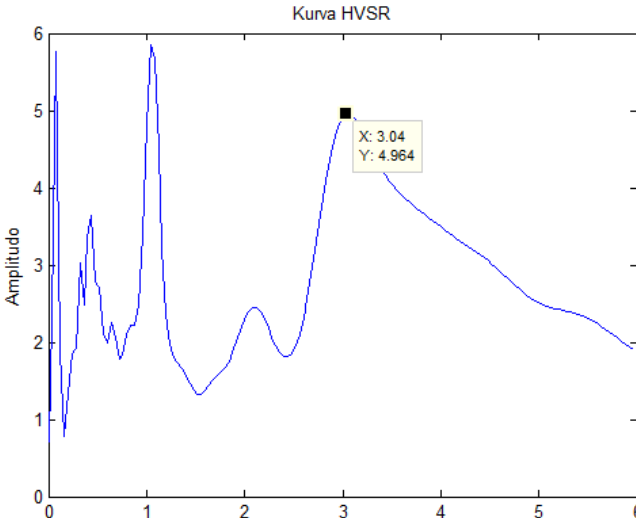
<p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p>$f = 1,2$ $A = 3,848$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1530 > 200$ iii. $0,736 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,687 < 1,924$ ii. $2,094 < 2,499$ iii. $3,848 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,162$ vi. $0,736 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">5</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p>$f = 0,92$ $A = 3,949$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,92 > 0,4$ ii. $460 > 200$ iii. $0,789 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $5,213 < 1,975$ ii. $1,890 < 1,975$ iii. $3,949 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,421 < 0,162$ vi. $0,789 < 2$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

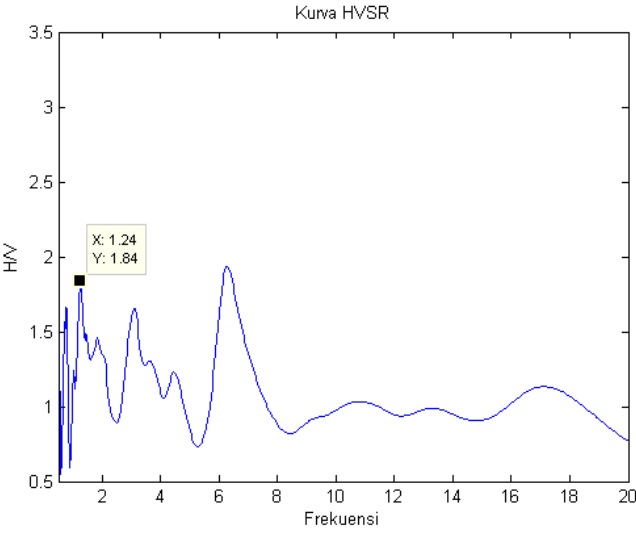
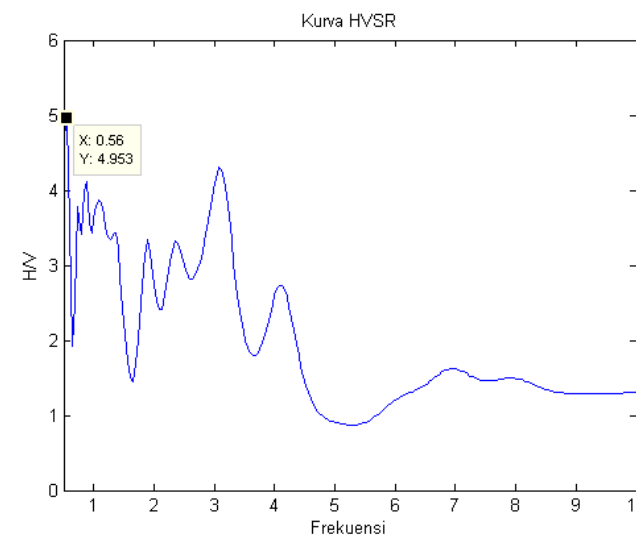
<p style="text-align: center;">6</p> 	<p> $f = 2,84$ $A = 7,187$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,84 > 0,4$ ii. $5112 > 200$ iii. $1,623 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $5,081 < 3,594$ ii. $2,351 < 3,594$ iii. $7,187 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,253 < 0,142$ vi. $1,623 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">7</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 3,555$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $950 > 200$ iii. $0,882 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,927 < 1,778$ ii. $1,604 < 1,778$ iii. $3,555 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,352 < 0,114$ vi. $0,882 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

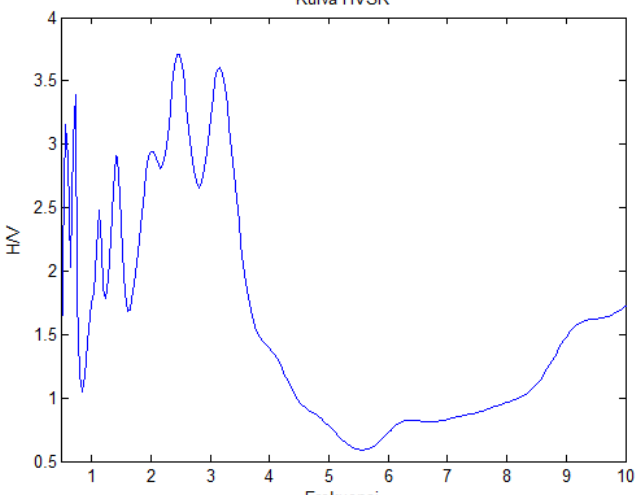
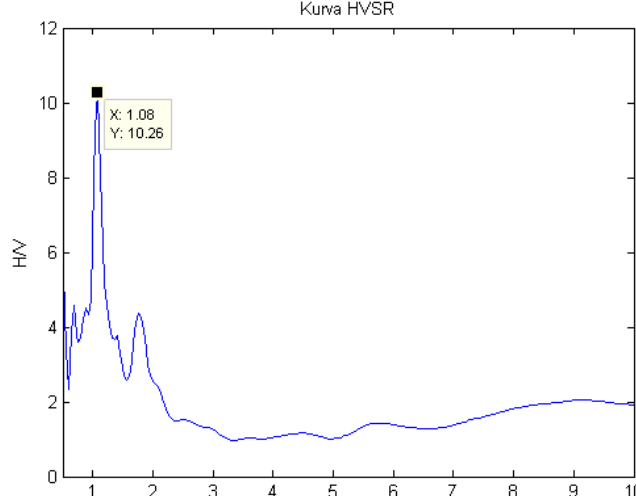
<p style="text-align: center;">8</p> 	<p> $f = 1,8$ $A = 7,065$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,8 > 0,4$ ii. $1620 > 200$ iii. $1,618 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,689 < 3,533$ ii. $2,272 < 3,533$ iii. $7,065 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,802 < 0,180$ vi. $1,618 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">9</p> 	<p> $f = 13,48$ $A = 3,069$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $13,48 > 0,4$ ii. $19209 > 200$ iii. $0,818 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,809 < 1,535$ ii. $2,262 < 1,535$ iii. $3,069 > 2$ iv. Terpenuhi v. $5,860 < 0,674$ vi. $0,818 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. </p>

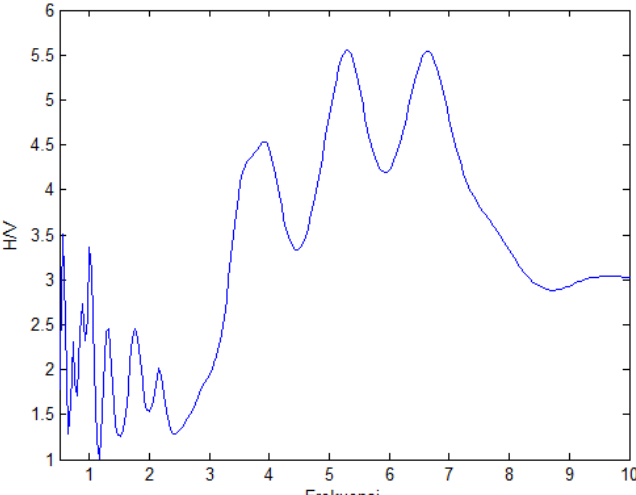
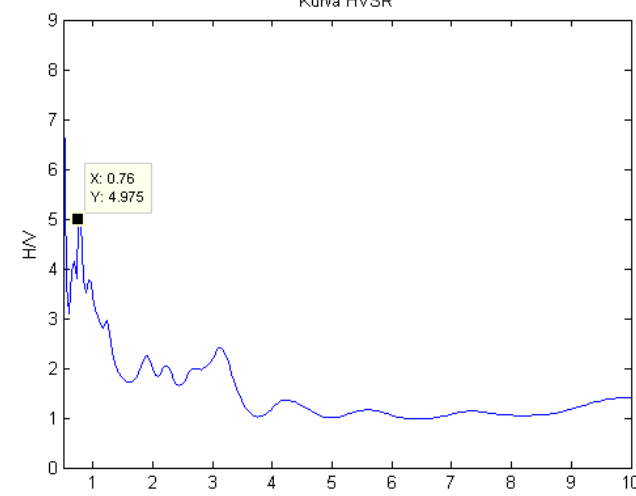
<p style="text-align: center;">10</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p>	<p>$f = 4,44$ $A = 4,304$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4,44 > 0,4$ ii. $4884 > 200$ iii. $1,162 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,913 < 2,152$ ii. $1,987 < 2,152$ iii. $4,304 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,946 < 0,222$ vi. $1,162 < 1,580$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">11</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p>	<p>$f = 1,12$ $A = 8,210$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,12 > 0,4$ ii. $980 > 200$ iii. $1,462 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $7,445 < 4,105$ ii. $3,202 < 4,105$ iii. $8,210 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $1,462 < 1,780$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomera, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

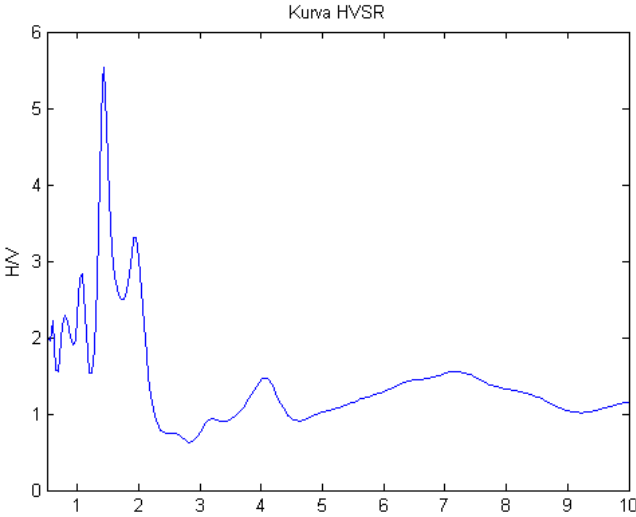
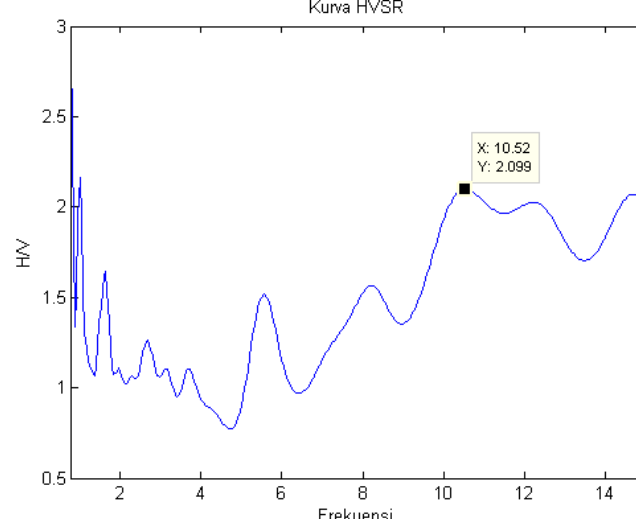
<p style="text-align: center;">12</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p> <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p>$f = 3,4$ $A = 4,354$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,4 > 0,4$ ii. $3570 > 200$ iii. $0,641 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,820 < 2,177$ ii. $2,099 < 2,177$ iii. $4,354 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,495 < 0,170$ vi. $0,641 < 1,580$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">13</p>  <p style="text-align: center;">Kurva HVSr</p> <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p>$f = 2,92$ $A = 3,393$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,92 > 0,4$ ii. $3723 > 200$ iii. $0,578 < 2$</p> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,436 < 1,697$ ii. $1,651 < 1,697$ iii. $3,393 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,287 < 0,146$ vi. $0,578 < 1,580$</p> <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

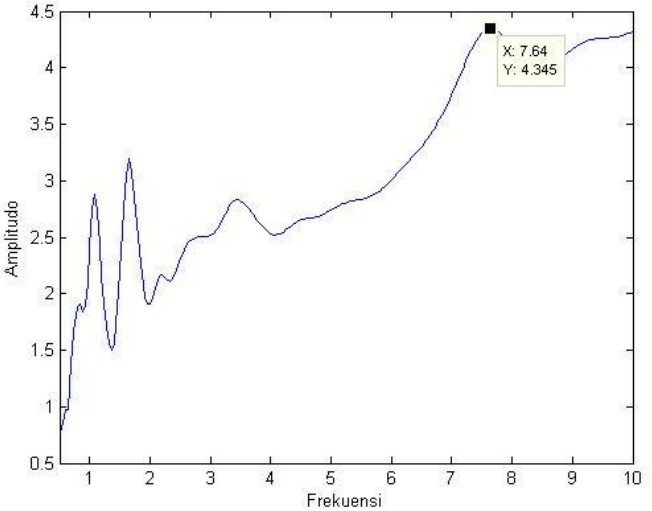
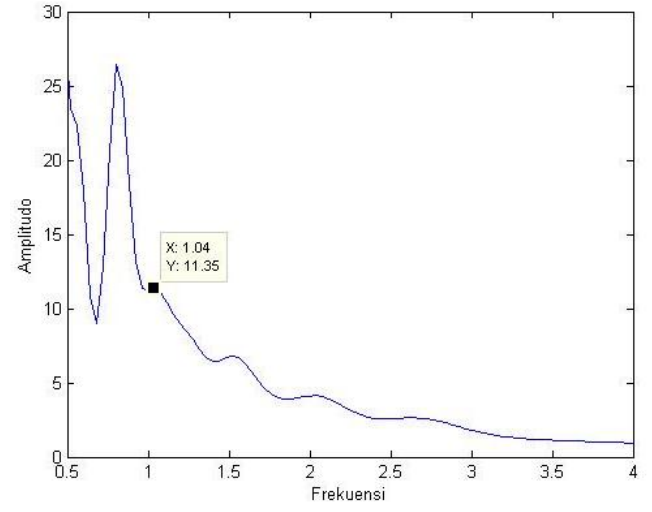
<p style="text-align: center;">14</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 1,4$ $A = 5,840$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,4 > 0,4$ ii. $1365 > 200$ iii. $1,129 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,758 < 2,920$ ii. $2,414 < 2,920$ iii. $5,840 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,618 < 0,140$ vi. $1,129 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">15</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 3,04$ $A = 4,964$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $3,04 > 0,4$ ii. $1976 > 200$ iii. $0,968 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,588 < 2,482$ ii. $1,896 < 2,482$ iii. $4,964 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,334 < 0,152$ vi. $0,968 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

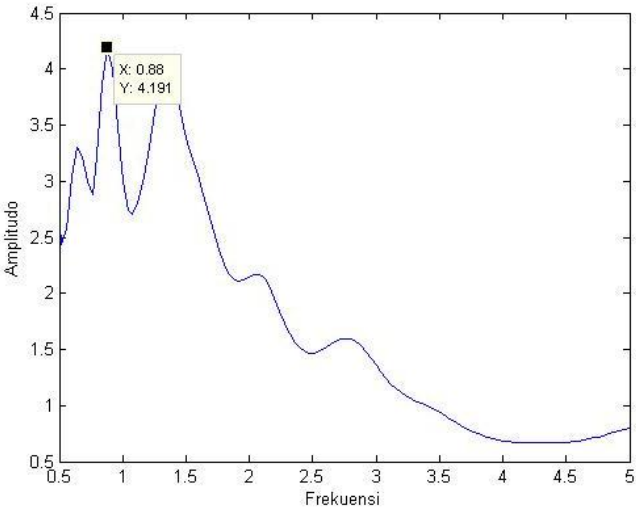
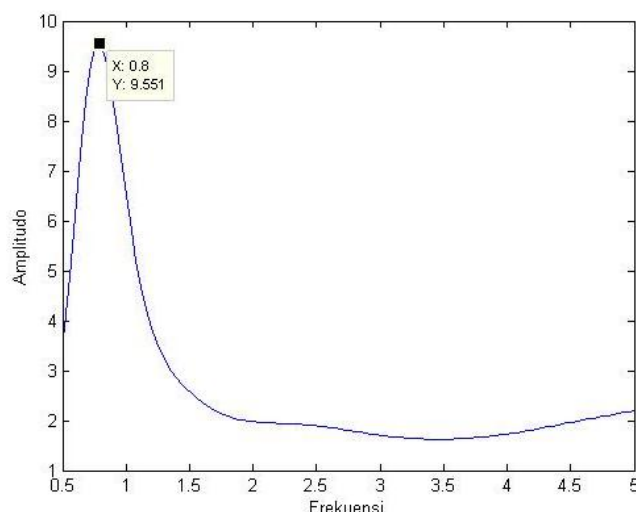
<p style="text-align: center;">16</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 1,24$ $A = 1,840$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,24 > 0,4$ ii. $930 > 200$ iii. $0,229 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,576 < 0,920$ ii. $1,244 < 0,920$ iii. $1,840 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,548 < 0,124$ vi. $0,229 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>
<p style="text-align: center;">17</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p> 	<p> $f = 0,56$ $A = 4,953$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,56 > 0,4$ ii. $784 > 200$ iii. $0,755 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,760 < 2,477$ ii. $3,067 < 2,477$ iii. $4,953 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,260 < 0,084$ vi. $0,755 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

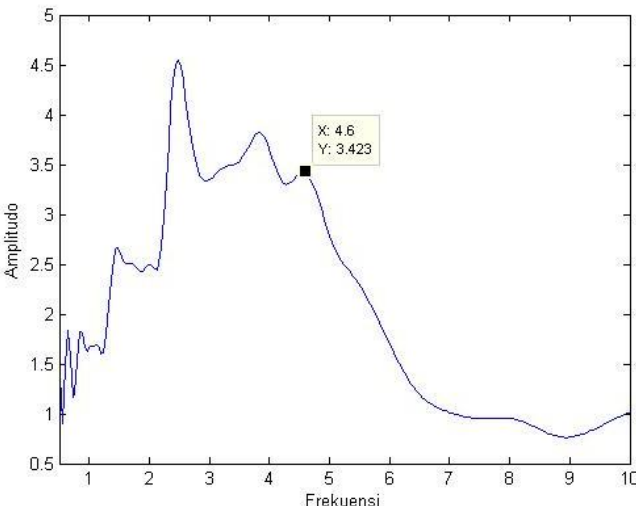
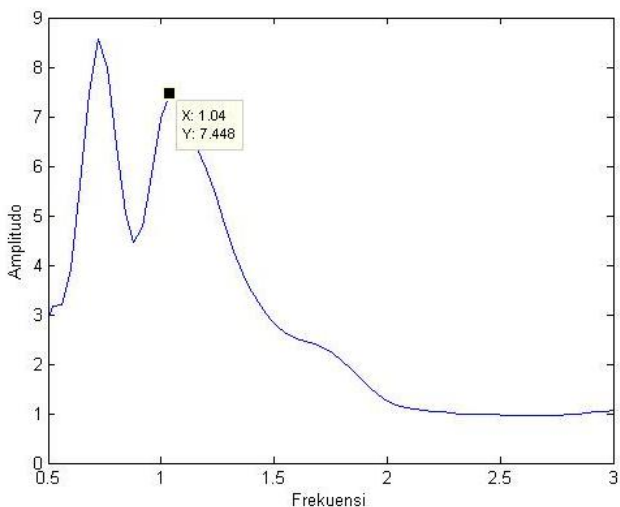
<p style="text-align: center;">18</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 2,48$ $A = 3,713$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $2,48 > 0,4$ ii. $2542 > 200$ iii. $0,871 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,407 < 1,857$ ii. $1,358 < 1,857$ iii. $3,713 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,091 < 0,124$ vi. $0,871 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">19</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 1,08$ $A = 10,26$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,08 > 0,4$ ii. $810 > 200$ iii. $1,092 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $4,148 < 5,130$ ii. $2,072 < 5,130$ iii. $10,26 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,479 < 0,108$ vi. $1,092 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

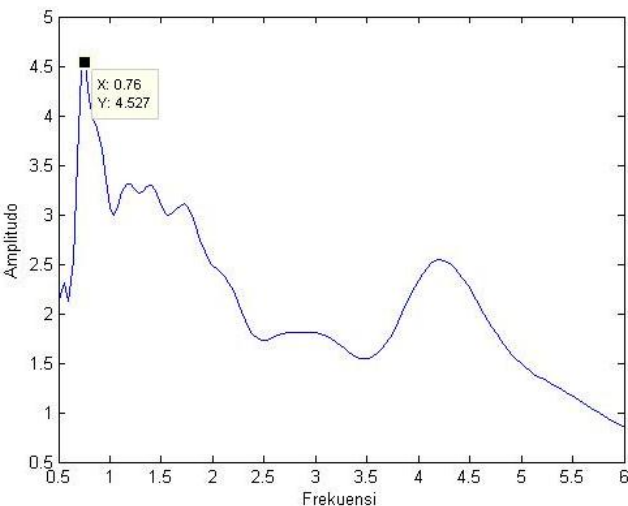
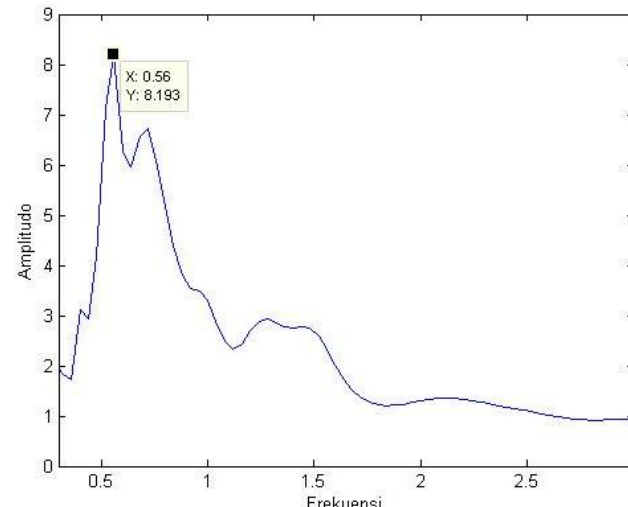
<p style="text-align: center;">20</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 6,64$ $A = 5,538$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $6,64 > 0,4$ ii. $3984 > 200$ iii. $1,088 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,571 < 2,769$ ii. $2,070 < 2,769$ iii. $5,538 > 2$ iv. Terpenuhi v. $2,893 < 0,332$ vi. $1,088 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. </p>
<p style="text-align: center;">21</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 0,76$ $A = 4,975$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $646 > 200$ iii. $1,321 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $5,974 < 2,488$ ii. $2,296 < 2,488$ iii. $4,975 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,341 < 0,114$ vi. $1,321 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

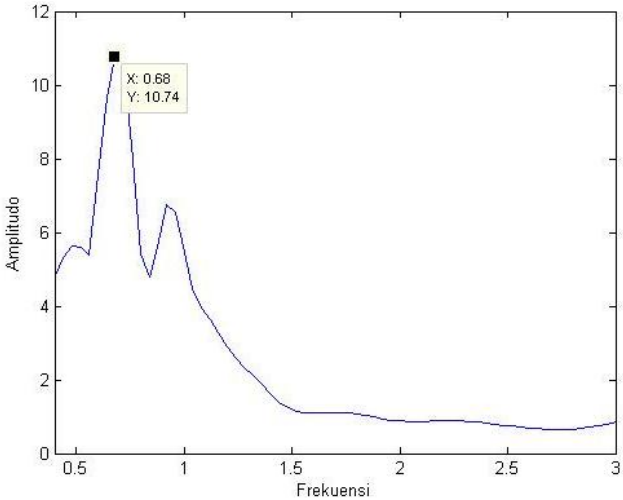
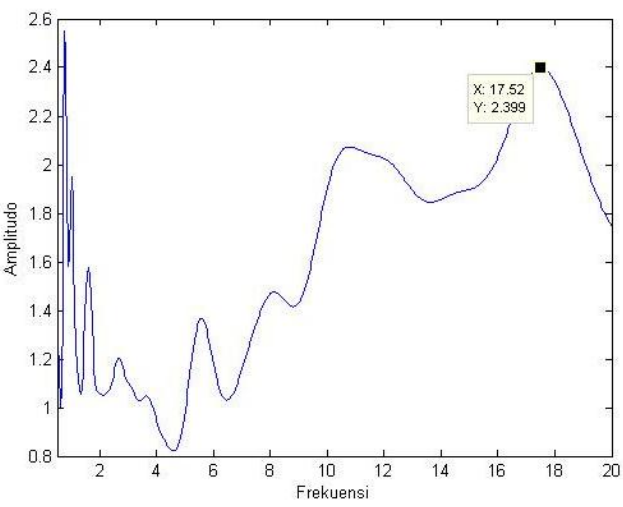
<p style="text-align: center;">22</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 1,44$ $A = 5,536$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,44 > 0,4$ ii. $720 > 200$ iii. $1,082 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,235 < 2,768$ ii. $1,350 < 2,768$ iii. $5,536 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,641 < 0,144$ vi. $1,082 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">23</p> <p style="text-align: center;">Kurva HVSR</p>  <p style="text-align: center;">Frekuensi</p>	<p> $f = 10,53$ $A = 2,099$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $10,53 > 0,4$ ii. $8687 > 200$ iii. $0,349 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,286 < 1,050$ ii. $1,732 < 1,050$ iii. $2,099 > 2$ iv. Terpenuhi v. $4,567 < 0,527$ vi. $0,349 < 1,580$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

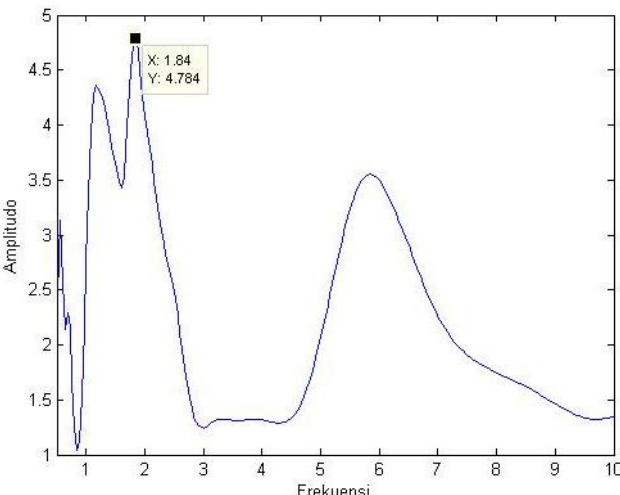
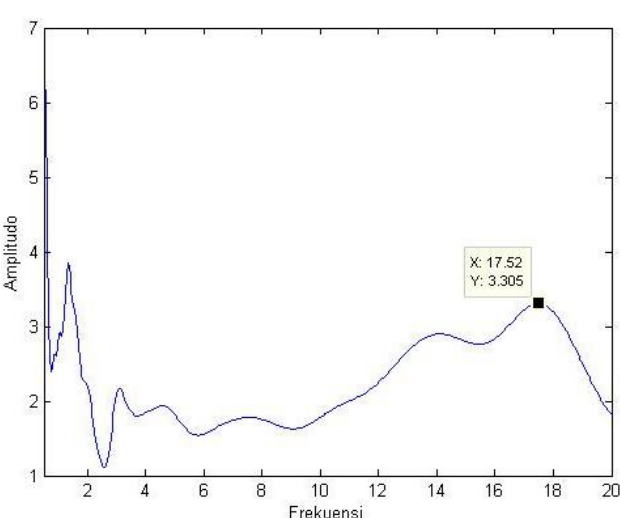
<p style="text-align: center;">24</p> 	<p> $f = 7,64$ $A = 4,345$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $7,64 > 0,4$ ii. $4966 > 200$ iii. $0,871 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,901 < 2,173$ ii. $4,428 < 2,173$ iii. $4,345 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $3,320 < 0,382$ vi. $0,871 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">25</p> 	<p> $f = 1,04$ $A = 11,35$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,04 > 0,4$ ii. $4966 > 200$ iii. $0,871 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,901 < 2,173$ ii. $4,428 < 2,173$ iii. $11,35 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $3,320 < 0,382$ vi. $0,871 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

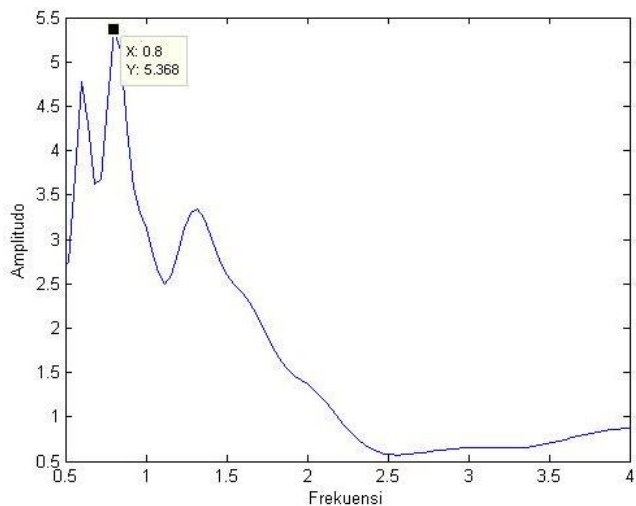
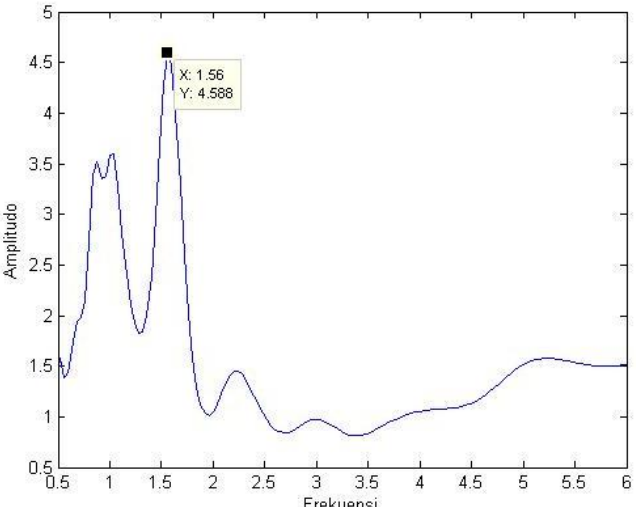
<p style="text-align: center;">26</p> 	<p> $f = 0,88$ $A = 4,191$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,88 > 0,4$ ii. $1166 > 200$ iii. $0,882 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,811 < 2,096$ ii. $2,151 < 2,096$ iii. $4,191 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,664 < 0,132$ vi. $0,882 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">27</p> 	<p> $f = 0,8$ $A = 9,551$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,88 > 0,4$ ii. $1166 > 200$ iii. $0,882 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,811 < 2,096$ ii. $2,151 < 2,096$ iii. $4,191 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,664 < 0,132$ vi. $0,882 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

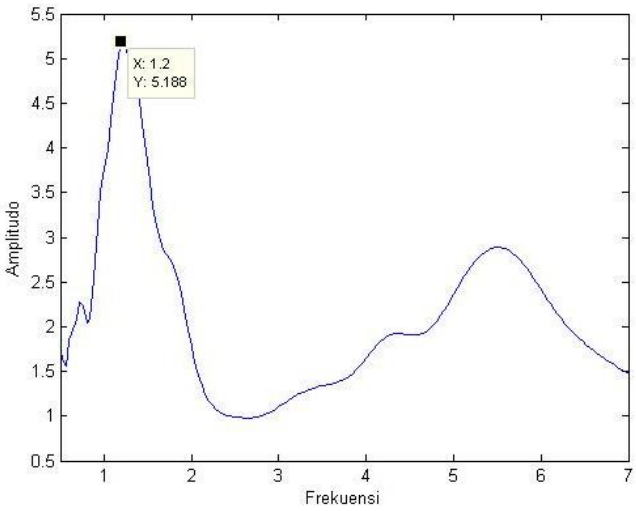
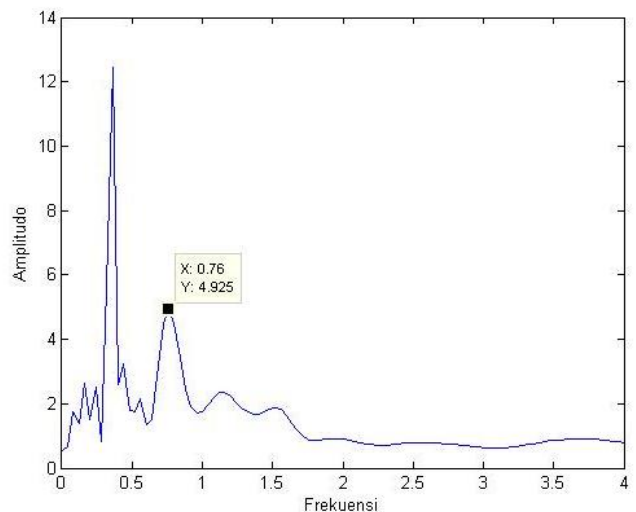
<p style="text-align: center;">28</p> 	<p> $f = 4,6$ $A = 3,423$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $4,6 > 0,4$ ii. $2300 > 200$ iii. $0,377 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,222 < 1,712$ ii. $1,159 < 1,712$ iii. $3,423 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,260 < 0,230$ vi. $0,377 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">30</p> 	<p> $sf = 1,04$ $A = 7,448$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,04 > 0,4$ ii. $1196 > 200$ iii. $2,217 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $4,267 < 3,724$ ii. $1,881 < 3,724$ iii. $7,448 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,468 < 0,104$ vi. $2,217 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

<p style="text-align: center;">31</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 4,527$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $1330 > 200$ iii. $0,673 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,336 < 2,246$ ii. $2,636 < 2,246$ iii. $4,527 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,548 < 0,114$ vi. $0,673 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">32</p> 	<p> $f = 0,56$ $A = 8,193$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $1330 > 200$ iii. $0,673 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,336 < 2,246$ ii. $2,636 < 2,246$ iii. $4,527 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,548 < 0,114$ vi. $0,673 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

<p style="text-align: center;">33</p> 	<p> $f = 0,68$ $A = 10,74$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $1330 > 200$ iii. $0,673 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,336 < 2,246$ ii. $2,636 < 2,246$ iii. $4,527 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,548 < 0,114$ vi. $0,673 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">34</p> 	<p> $f = 17,52$ $A = 2,399$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $17,52 > 0,4$ ii. $14454 > 200$ iii. $0,287 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,710 < 1,200$ ii. $1,943 < 1,200$ iii. $2,399 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,687 < 0,876$ vi. $0,287 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tufdasit dan tuf andesit sertabatu lempung tufan. </p>

<p style="text-align: center;">36</p> 	<p> $f = 1,84$ $A = 4,784$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,84 > 0,4$ ii. $1472 > 200$ iii. $1,060 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,212 < 2,392$ ii. $2,301 < 2,392$ iii. $4,784 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,606 < 0,184$ vi. $1,060 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>
<p style="text-align: center;">38</p> 	<p> $f = 17,52$ $A = 3,305$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $17,52 > 0,4$ ii. $12702 > 200$ iii. $0,820 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,228 < 1,653$ ii. $2,347 < 1,653$ iii. $3,305 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,629 < 0,876$ vi. $0,820 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>

<p style="text-align: center;">40</p> 	<p> $f = 0,8$ $A = 5,368$ <i>Kriteria Reliable Curve</i> i. $0,8 > 0,4$ ii. $640 > 200$ iii. $1,045 < 2$ </p> <p> <i>Kriteria Clear Peak</i> i. $3,405 < 2,684$ ii. $1,747 < 2,684$ iii. $5,368 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,768 < 0,080$ vi. $1,045 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi MudBatuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">41</p> 	<p> $f = 1,56$ $A = 4,588$ <i>Kriteria Reliable Curve</i> i. $1,56 > 0,4$ ii. $1755 > 200$ iii. $1,036 < 2$ </p> <p> <i>Kriteria Clear Peak</i> i. $2,514 < 2,294$ ii. $1,322 < 2,294$ iii. $4,588 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,849 < 0,156$ vi. $1,036 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

<p style="text-align: center;">43</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,188$ Kriteria <i>Reliable Curve</i> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1140 > 200$ iii. $1,334 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,037 < 2,594$ ii. $1,887 < 2,594$ iii. $5,188 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,860 < 0,120$ vi. $1,334 < 1,780$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">45</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 4,925$ sKriteria <i>Reliable Curve</i> i. $0,76 > 0,4$ ii. $228 > 200$ iii. $0,457 < 2$ </p> <p> Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,303 < 2,463$ ii. $1,357 < 2,463$ iii. $4,925 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,941 < 0,114$ vi. $0,457 < 2$ </p> <p> Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

Lampiran 4. Klasifikasi Tanah Menurut Kanai (Arifin *et al.*, 2013)

Titik	Formasi	T_0	Jenis tanah
B1	Merapi muda	0,6944	IV
B2	Merapi muda	0,3086	III
B3	Merapi muda	0,1055	I
B4	Merapi muda	0,2778	III
B5	Merapi muda	0,7813	IV
B6	Merapi muda	0,3521	III
B7	Merapi muda	0,3333	III
B8	Merapi muda	0,5682	IV
B9	Merapi muda	0,3165	III
C1	Merapi muda	0,3205	III
C9	Merapi muda	0,2404	II
C10	Merapi muda	0,3788	III
D2	Merapi muda	0,4902	IV
D3	Wonosari	0,2941	III
D5	Aluvium	0,8929	IV
D6	Merapi muda	0,8333	IV
D7	Merapi muda	0,6098	IV
D8	Merapi muda	0,5814	IV
D9	Merapi muda	1,5625	IV
Titik-1	Merapi muda	0,2632	III
Titik-4	Merapi muda	0,7576	IV
Titik-5	Merapi muda	0,5435	IV
Titik-9	Merapi muda	0,2907	III
Titik-11	Merapi muda	0,3165	III
Titik-13	Merapi muda	0,3731	III
Titik-19	Merapi muda	0,2907	III
Titik-23	Merapi muda	0,3906	III
Titik-24	Merapi muda	0,3378	III
Titik-25	Merapi muda	0,2475	II
Titik-26	Merapi muda	0,3571	III
Titik-28	Merapi muda	0,266	III
Titik-34	Merapi muda	0,1908	II
Titik-35	Merapi muda	0,4902	IV
Titik-37	Merapi muda	0,3012	III
Titik-43	Merapi muda	0,5	IV
Titik-48	Merapi muda	0,2941	III

TA1	Merapi muda	1	IV
TA2	Nglanggran	0,2232	II
TA3	Merapi muda	0,3571	III
TA4	Merapi muda	0,25	II
TA5	Merapi muda	0,5102	IV
TA6	Merapi muda	0,8333	IV
TA7	Merapi muda	0,8333	IV
TA8	Merapi muda	0,8929	IV
TA9	Merapi muda	0,9259	IV
TA10	Merapi muda	1,6667	IV
TA11	Merapi muda	0,8621	IV
1	Merapi muda	0,7143	IV
2	Nglanggran	0,0536	I
3	Merapi muda	0,3788	III
4	Merapi muda	0,8333	IV
5	Merapi muda	1,087	IV
6	Merapi muda	0,3521	III
7	Merapi muda	1,3158	IV
8	Merapi muda	0,5556	IV
9	Semilir	0,0742	I
10	Merapi muda	0,2252	II
11	Merapi muda	0,8929	IV
12	Merapi muda	0,2941	III
13	Merapi muda	0,3425	III
14	Merapi muda	0,7143	IV
15	Merapi muda	0,3289	III
16	Semilir	0,8065	IV
17	Merapi muda	1,7857	IV
18	Merapi muda	0,4032	IV
19	Merapi muda	0,9259	IV
20	Semilir	0,1506	II
21	Merapi muda	1,3158	IV
22	Merapi muda	0,6944	IV
23	Semilir	0,095	I
24	Semilir	0,1309	I
25	Merapi muda	0,9615	IV
26	Merapi muda	1,1364	IV
27	Merapi muda	1,25	IV
28	Semilir	0,2174	II

30	Merapi muda	0,9615	IV
31	Merapi muda	1,3158	IV
32	Merapi muda	1,7857	IV
33	Merapi muda	1,4706	IV
34	Semilir	0,0571	I
36	Semilir	0,5435	IV
38	Merapi muda	0,0571	I
40	Merapi muda	1,25	IV
41	Merapi muda	0,641	IV
43	Merapi muda	0,8333	IV
45	Merapi muda	1,3158	IV

Lampiran 5. Perhitungan Jarak Episenter

Rumus empiris yang digunakan yaitu :

$$\Delta = 111,22 \sqrt{(b_{titik} - b_{gempa})^2 + (l_{titik} - l_{gempa})^2}$$

Titik	Koordinat Pengukuran		Koordinat Gempa		Jarak Episenter (km)
	Lintang (°)	Bujur (°)	Lintang (°)	Bujur (°)	
B1	-7,89041	110,3857	-8,03	110,32	17,15919381
B2	-7,89723	110,3878	-8,03	110,32	16,58176014
B3	-7,89452	110,3873	-8,03	110,32	16,82568237
B4	-7,89691	110,3737	-8,03	110,32	15,96060127
B5	-7,91770	110,3728	-8,03	110,32	13,80278654
B6	-7,92628	110,3605	-8,03	110,32	12,38603361
B7	-7,91876	110,3531	-8,03	110,32	12,90775565
B8	-7,93981	110,3540	-8,03	110,32	10,72018393
B9	-7,90300	110,3649	-8,03	110,32	14,98267243
C1	-7,90308	110,3839	-8,03	110,32	15,80444465
C9	-7,91589	110,3752	-8,03	110,32	14,09885665
C10	-7,91657	110,3761	-8,03	110,32	14,07579183
D2	-7,96196	110,3510	-8,03	110,32	8,314805113
D3	-8,00624	110,3394	-8,03	110,32	3,412148932
D5	-8,01398	110,2932	-8,03	110,32	3,477277383
D6	-7,98250	110,3112	-8,03	110,32	5,372038914
D7	-7,99417	110,2858	-8,03	110,32	5,513171751
D8	-7,97034	110,2984	-8,03	110,32	7,056479144
D9	-7,98448	110,2976	-8,03	110,32	5,643849701
Titik-1	-7,94651	110,3319	-8,03	110,32	9,378988505
Titik-4	-7,94447	110,3422	-8,03	110,32	9,827617159
Titik-5	-7,93772	110,3414	-8,03	110,32	10,53756481
Titik-9	-7,94703	110,3496	-8,03	110,32	9,798403729
Titik-11	-7,92806	110,3509	-8,03	110,32	11,84845943
Titik-13	-7,92050	110,3590	-8,03	110,32	12,92705319
Titik-19	-7,91056	110,3595	-8,03	110,32	13,99160843
Titik-23	-7,94710	110,3683	-8,03	110,32	10,67125636
Titik-24	-7,93646	110,3694	-8,03	110,32	11,76402847
Titik-25	-7,92772	110,3741	-8,03	110,32	12,86960678

Titik-26	-7,92033	110,3734	-8,03	110,32	13,5690279
Titik-28	-7,89748	110,3682	-8,03	110,32	15,68503122
Titik-34	-7,91089	110,3779	-8,03	110,32	14,73211494
Titik-35	-7,90147	110,3773	-8,03	110,32	15,65209542
Titik-37	-7,88339	110,3781	-8,03	110,32	17,54010305
Titik-43	-7,88383	110,3884	-8,03	110,32	17,9476618
Titik-48	-7,87477	110,3950	-8,03	110,32	19,17671937
TA1	-7,98689	110,3241	-8,03	110,32	4,816363535
TA2	-7,99215	110,3265	-8,03	110,32	4,271241122
TA3	-7,98675	110,3248	-8,03	110,32	4,841014084
TA4	-7,97733	110,3437	-8,03	110,32	6,423699169
TA5	-7,96798	110,3526	-8,03	110,32	7,791849345
TA6	-7,96637	110,3230	-8,03	110,32	7,084295995
TA7	-7,97456	110,3338	-8,03	110,32	6,353365163
TA8	-7,95797	110,3436	-8,03	110,32	8,431747654
TA9	-7,95102	110,3376	-8,03	110,32	8,999978563
TA10	-7,99984	110,2917	-8,03	110,32	4,596409199
TA11	-8,00954	110,3021	-8,03	110,32	3,02287263
1	-7,93932	110,3462	-8,03	110,32	10,49816449
2	-7,93971	110,3826	-8,03	110,32	12,22277715
3	-7,93942	110,3291	-8,03	110,32	10,1243338
4	-7,93963	110,3103	-8,03	110,32	10,10869526
5	-7,91887	110,3599	-8,03	110,32	13,1343642
6	-7,92116	110,3787	-8,03	110,32	13,75634523
7	-7,92077	110,3237	-8,03	110,32	12,15547082
8	-7,90277	110,3738	-8,03	110,32	15,36496336
9	-7,90441	110,4092	-8,03	110,32	17,13089185
10	-7,89987	110,3553	-8,03	110,32	14,99539794
11	-7,88548	110,3878	-8,03	110,32	17,75387601
12	-7,88525	110,3695	-8,03	110,32	17,01531677
13	-7,88539	110,3519	-8,03	110,32	16,46989412
14	-7,86694	110,4012	-8,03	110,32	20,26086457
15	-7,86699	110,4198	-8,03	110,32	21,25748795
16	-7,85898	110,4438	-8,03	110,32	23,48522451
17	-7,86725	110,3831	-8,03	110,32	19,41225883
18	-7,86717	110,3647	-8,03	110,32	18,78149765
19	-7,84911	110,4256	-8,03	110,32	23,29572316
20	-7,84870	110,4464	-8,03	110,32	24,57892577
21	-7,84954	110,3919	-8,03	110,32	21,60441623

22	-7,83120	110,4420	-8,03	110,32	25,94434465
23	-7,83075	110,4599	-8,03	110,32	27,07564209
24	-7,83105	110,4783	-8,03	110,32	28,28072735
25	-7,83131	110,4239	-8,03	110,32	24,93967723
26	-7,83101	110,4050	-8,03	110,32	24,06694858
27	-7,81307	110,4556	-8,03	110,32	28,45246559
28	-7,81402	110,4734	-8,03	110,32	29,46257258
30	-7,81245	110,4364	-8,03	110,32	27,44428832
31	-7,81236	110,4188	-8,03	110,32	26,58238847
32	-7,79441	110,4684	-8,03	110,32	30,96684283
33	-7,79489	110,4874	-8,03	110,32	32,09964195
34	-7,79894	110,5033	-8,03	110,32	32,80450835
36	-7,77656	110,4828	-8,03	110,32	33,50113577
38	-7,78270	110,5147	-8,03	110,32	35,00875027
40	-7,77709	110,4463	-8,03	110,32	31,44247519
41	-7,75871	110,4967	-8,03	110,32	36,00811945
43	-7,75943	110,5324	-8,03	110,32	38,25877287
45	-7,75835	110,4602	-8,03	110,32	33,99999483

Lampiran 6. Perhitungan Jarak Hiposenter

Rumus empiris yang digunakan yaitu :

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$$

Titik	Jarak Episenter (km)	Kedalaman (km)	Jarak Hiposenter (km)
B1	17,15919381	12	20,93891
B2	16,58176014	12	20,46838
B3	16,82568237	12	20,66648
B4	15,96060127	12	19,9685
B5	13,80278654	12	18,2898
B6	12,38603361	12	17,24569
B7	12,90775565	12	17,62414
B8	10,72018393	12	16,09106
B9	14,98267243	12	19,19585
C1	15,80444465	12	19,8439
C9	14,09885665	12	18,51426
C10	14,07579183	12	18,4967
D2	8,314805113	12	14,59918
D3	3,412148932	12	12,47569
D5	3,477277383	12	12,49366
D6	5,372038914	12	13,14758
D7	5,513171751	12	13,20587
D8	7,056479144	12	13,92099
D9	5,643849701	12	13,26096
Titik-1	9,378988505	12	15,23041
Titik-4	9,827617159	12	15,51071
Titik-5	10,53756481	12	15,96998
Titik-9	9,798403729	12	15,49221
Titik-11	11,84845943	12	16,86375
Titik-13	12,92705319	12	17,63827
Titik-19	13,99160843	12	18,43272
Titik-23	10,67125636	12	16,05851
Titik-24	11,76402847	12	16,80453
Titik-25	12,86960678	12	17,59621
Titik-26	13,5690279	12	18,11404

Titik-28	15,68503122	12	19,74893
Titik-34	14,73211494	12	19,00093
Titik-35	15,65209542	12	19,72278
Titik-37	17,54010305	12	21,25218
Titik-43	17,9476618	12	21,58978
Titik-48	19,17671937	12	22,62182
TA1	4,816363535	12	12,93048
TA2	4,271241122	12	12,73748
TA3	4,841014084	12	12,93968
TA4	6,423699169	12	13,61117
TA5	7,791849345	12	14,30779
TA6	7,084295995	12	13,93511
TA7	6,353365163	12	13,57812
TA8	8,431747654	12	14,6661
TA9	8,999978563	12	14,99999
TA10	4,596409199	12	12,85017
TA11	3,02287263	12	12,37488
1	10,49816449	12	15,94401
2	12,22277715	12	17,12881
3	10,1243338	12	15,70039
4	10,10869526	12	15,69031
5	13,1343642	12	17,79077
6	13,75634523	12	18,25478
7	12,15547082	12	17,08085
8	15,36496336	12	19,49569
9	17,13089185	12	20,91572
10	14,99539794	12	19,20578
11	17,75387601	12	21,42896
12	17,01531677	12	20,82117
13	16,46989412	12	20,37787
14	20,26086457	12	23,54788
15	21,25748795	12	24,41067
16	23,48522451	12	26,37339
17	19,41225883	12	22,82183
18	18,78149765	12	22,28777
19	23,29572316	12	26,20478
20	24,57892577	12	27,35185
21	21,60441623	12	24,71337
22	25,94434465	12	28,58512

23	27,07564209	12	29,61571
24	28,28072735	12	30,72132
25	24,93967723	12	27,67648
26	24,06694858	12	26,89271
27	28,45246559	12	30,87949
28	29,46257258	12	31,81263
30	27,44428832	12	29,95311
31	26,58238847	12	29,16545
32	30,96684283	12	33,21062
33	32,09964195	12	34,26933
34	32,80450835	12	34,93044
36	33,50113577	12	35,58548
38	35,00875027	12	37,00828
40	31,44247519	12	33,65456
41	36,00811945	12	37,95503
43	38,25877287	12	40,09655
45	33,99999483	12	36,05551

Lampiran 7. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum

Percepatan getaran tanah dihitung dengan menggunakan metode Kanai (1966) dengan rumus empiris sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{a_1}{\sqrt{T_G}} 10^{a_2 M - P \log R + Q}$$

$$P = a_3 + \frac{a_4}{R}$$

$$Q = a_5 + \frac{a_6}{R}$$

dimana $a_1 = 5$, $a_2 = 0,61$, $a_3 = 1,66$, $a_4 = 3,60$, $a_5 = 0,167$, $a_6 = -1,83$

Titik	Periode (sekon)	Magnitudo (SR)	Jarak Hiposenter (km)	Percepatan Getaran Tanah (cm/s ²)
B1	0,6944	5,9	20,93891	108,858
B2	0,3086	5,9	20,46838	167,4337
B3	0,1055	5,9	20,66648	283,3802
B4	0,2778	5,9	19,9685	181,3311
B5	0,7813	5,9	18,2898	118,7983
B6	0,3521	5,9	17,24569	188,1359
B7	0,3333	5,9	17,62414	189,0689
B8	0,5682	5,9	16,09106	158,8996
B9	0,3165	5,9	19,19585	177,2976
C1	0,3205	5,9	19,8439	169,9638
C9	0,2404	5,9	18,51426	211,4236
C10	0,3788	5,9	18,4967	168,5952
D2	0,4902	5,9	14,59918	188,1653
D3	0,2941	5,9	12,47569	280,7213
D5	0,8929	5,9	12,49366	160,9137
D6	0,8333	5,9	13,14758	159,1223
D7	0,6098	5,9	13,20587	185,2747
D8	0,5814	5,9	13,92099	180,7299
D9	1,5625	5,9	13,26096	115,3021
Titik-1	0,2632	5,9	15,23041	246,5185
Titik-4	0,7576	5,9	15,51071	142,7193

Titik-5	0,5435	5,9	15,96998	163,701
Titik-9	0,2907	5,9	15,49221	230,6665
Titik-11	0,3165	5,9	16,86375	203,0617
Titik-13	0,3731	5,9	17,63827	178,5521
Titik-19	0,2907	5,9	18,43272	193,1591
Titik-23	0,3906	5,9	16,05851	192,0285
Titik-24	0,3378	5,9	16,80453	197,2369
Titik-25	0,2475	5,9	17,59621	219,7685
Titik-26	0,3571	5,9	18,11404	177,4998
Titik-28	0,266	5,9	19,74893	187,5581
Titik-34	0,1908	5,9	19,00093	230,8214
Titik-35	0,4902	5,9	19,72278	138,3507
Titik-37	0,3012	5,9	21,25218	162,587
Titik-43	0,5	5,9	21,58978	123,9911
Titik-48	0,2941	5,9	22,62182	153,3703
TA1	1	5,9	12,93048	147,4609
TA2	0,2232	5,9	12,73748	316,3512
TA3	0,3571	5,9	12,93968	246,5913
TA4	0,25	5,9	13,61117	281,438
TA5	0,5102	5,9	14,30779	188,014
TA6	0,8333	5,9	13,93511	150,815
TA7	0,8333	5,9	13,57812	154,4965
TA8	0,8929	5,9	14,6661	138,8133
TA9	0,9259	5,9	14,99999	133,3856
TA10	1,6667	5,9	12,85017	114,8638
TA11	0,8621	5,9	12,37488	165,1458
1	0,7143	5,9	15,94401	143,0246
2	0,0536	5,9	17,12881	485,3701
3	0,3788	5,9	15,70039	199,4291
4	0,8333	5,9	15,69031	134,5405
5	1,087	5,9	17,79077	103,6809
6	0,3521	5,9	18,25478	177,3136
7	1,3158	5,9	17,08085	98,28945
8	0,5556	5,9	19,49569	131,597
9	0,0742	5,9	20,91572	333,4702
10	0,2252	5,9	19,20578	210,0437
11	0,8929	5,9	21,42896	93,56528
12	0,2941	5,9	20,82117	168,3174
13	0,3425	5,9	20,37787	159,726

14	0,7143	5,9	23,54788	94,00177
15	0,3289	5,9	24,41067	132,8685
16	0,8065	5,9	26,37339	77,47584
17	1,7857	5,9	22,82183	61,62326
18	0,4032	5,9	22,28777	133,2149
19	0,9259	5,9	26,20478	72,85831
20	0,1506	5,9	27,35185	171,6393
21	1,3158	5,9	24,71337	65,48655
22	0,6944	5,9	28,58512	75,77985
23	0,095	5,9	29,61571	196,242
24	0,1309	5,9	30,72132	159,7706
25	0,9615	5,9	27,67648	66,96994
26	1,1364	5,9	26,89271	63,76631
27	1,25	5,9	30,87949	51,37253
28	0,2174	5,9	31,81263	118,7056
30	0,9615	5,9	29,95311	60,8201
31	1,3158	5,9	29,16545	53,71989
32	1,7857	5,9	33,21062	39,24066
33	1,4706	5,9	34,26933	41,55645
34	0,0571	5,9	34,93044	205,8651
36	0,5435	5,9	35,58548	65,14879
38	0,0571	5,9	37,00828	191,1417
40	1,25	5,9	33,65456	46,12109
41	0,641	5,9	37,95503	55,19985
43	0,8333	5,9	40,09655	45,06412
45	1,3158	5,9	36,05551	41,171

Lampiran 8. Analisis Intensitas Gempabumi

Intensitas gempabumi dihitung menggunakan persamaan Wald dengan rumus empiris sebagai berikut :

$$IMM = 3,66 \log \alpha - 1,66$$

Titik	Percepatan Getaran Tanah (cm/s ²)	<i>IMM</i>	Skala MMI
B1	108,858	5,672698	VI
B2	167,4337	6,345834	VI
B3	283,3802	7,16853	VII
B4	181,3311	6,4705	VII
B5	118,7983	5,809317	VI
B6	188,1359	6,528098	VII
B7	189,0689	6,535832	VII
B8	158,8996	6,264042	VI
B9	177,2976	6,435331	VI
C1	169,9638	6,369283	VI
C9	211,4236	6,710553	VII
C10	168,5952	6,356643	VI
D2	188,1653	6,528343	VII
D3	280,7213	7,153791	VII
D5	160,9137	6,283735	VI
D6	159,1223	6,266232	VI
D7	185,2747	6,504138	VII
D8	180,7299	6,465308	VII
D9	115,3021	5,762614	VI
Titik-1	246,5185	6,950658	VII
Titik-4	142,7193	6,096137	VI
Titik-5	163,701	6,310584	VI
Titik-9	230,6665	6,846745	VII
Titik-11	203,0617	6,647461	VII
Titik-13	178,5521	6,446354	VI
Titik-19	193,1591	6,569294	VII
Titik-23	192,0285	6,560117	VII
Titik-24	197,2369	6,601957	VII

Titik-25	219,7685	6,771076	VII
Titik-26	177,4998	6,437112	VI
Titik-28	187,5581	6,523289	VII
Titik-34	230,8214	6,847794	VII
Titik-35	138,3507	6,047533	VI
Titik-37	162,587	6,299909	VI
Titik-43	123,9911	5,876206	VI
Titik-48	153,3703	6,208668	VI
TA1	147,4609	6,147236	VI
TA2	316,3512	7,34061	VII
TA3	246,5913	6,95112	VII
TA4	281,438	7,157778	VII
TA5	188,014	6,527085	VII
TA6	150,815	6,182401	VI
TA7	154,4965	6,220107	VI
TA8	138,8133	6,052752	VI
TA9	133,3856	5,990392	VI
TA10	114,8638	5,75666	VI
TA11	165,1458	6,324323	VI
1	143,0246	6,099479	VI
2	485,3701	8,009863	VIII
3	199,4291	6,619238	VII
4	134,5405	6,003871	VI
5	103,6809	5,596515	VI
6	177,3136	6,435471	VI
7	98,28945	5,513025	VI
8	131,597	5,969286	VI
9	333,4702	7,423006	VII
10	210,0437	6,700315	VII
11	93,56528	5,436013	VI
12	168,3174	6,354064	VI
13	159,726	6,272153	VI
14	94,00177	5,44329	VI
15	132,8685	5,984319	VI
16	77,47584	5,140999	V
17	61,62326	4,783081	V
18	133,2149	5,988391	VI
19	72,85831	5,044925	V
20	171,6393	6,38462	VI

21	65,48655	4,878148	V
22	75,77985	5,106394	V
23	196,242	6,594051	VII
24	159,7706	6,272589	VI
25	66,96994	4,913168	V
26	63,76631	4,836529	V
27	51,37253	4,498631	V
28	118,7056	5,808097	VI
30	60,8201	4,76257	V
31	53,71989	4,568487	V
32	39,24066	4,077451	V
33	41,55645	4,167098	V
34	205,8651	6,668898	VII
36	65,14879	4,870063	V
38	191,1417	6,55288	VII
40	46,12109	4,330038	V
41	55,19985	4,610977	V
43	45,06412	4,293791	V
45	41,171	4,152529	V

Lampiran 9. Informasi Wilayah dengan Tingkat Resiko Kerusakan Gempa

No	Desa	Kecamatan	Formasi	Jumlah Bangunan Rusak Berat	Skala MMI	Skor untuk Penentuan Tingkat Resiko Gempabumi	Tingkat Resiko Kerusakan Gempa
1	Mulyodadi	Bambanglipuro	Merapi muda	951 – 2000 (D)	VI	6	Sedang
2	Sidomulyo	Bambanglipuro	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	V	6	Sedang
3	Sumbermulyo	Bambanglipuro	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang
4	Banguntapan	Banguntapan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
5	Baturetno	Banguntapan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
6	Jagalan	Banguntapan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
7	Jambidan	Banguntapan	Merapi muda	501 – 950 (C)	V	4	Sedang
8	Potorono	Banguntapan	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	V	6	Sedang
9	Singosaren	Banguntapan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
10	Tamanan	Banguntapan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
11	Wirokerten	Banguntapan	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	V	6	Sedang
12	Bantul	Bantul	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
13	Palbapang	Bantul	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
14	Sabdodadi	Bantul	Merapi muda	951 – 2000 (D)	VI	6	Sedang
15	Trirenggo	Bantul	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang
16	Jogotirto	Berbah	Semilir, Merapi muda	-	VI	2	Rendah
17	Kalitirto	Berbah	Merapi muda	501 – 950 (C)	V	4	Sedang
18	Sendangtirto	Berbah	Merapi muda	951 – 2000 (D)	V	5	Sedang
19	Tegaltirto	Berbah	Semilir, Merapi muda	951 – 2000 (D)	V	5	Sedang

20	Maguwoharjo	Depok	Merapi muda	-	V	1	Rendah
21	Girirejo	Imogiri	Nglanggran, Wonosari, Semilir, Aluvium, Merapi muda	0 – 250 (A)	VIII	5	Sedang
22	Imogiri	Imogiri	Semilir, Merapi muda	501 – 950 (C)	VII	6	Sedang
23	Karangtalun	Imogiri	Merapi muda	501 – 950 (C)	VII	5	Sedang
24	Karangtengah	Imogiri	Nglanggran, Wonosari, Merapi muda	951 – 2000 (D)	VIII	8	Tinggi
25	Kebonagung	Imogiri	Merapi muda	951 – 2000 (D)	VII	7	Sedang
26	Selopamioro	Imogiri	Nglanggran, Aluvium, Merapi muda	501 – 950 (C)	VII	6	Sedang
27	Sriharjo	Imogiri	Nglanggran, Aluvium, Merapi muda	951 – 2000 (D)	VII	7	Sedang
28	Wukirsari	Imogiri	Semilir, Aluvium, Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VII	8	Tinggi
29	Canden	Jetis	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang
30	Patalan	Jetis	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
31	Sumberagung	Jetis	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang
32	Trimulyo	Jetis	Semilir, Merapi muda	-	VI	2	Rendah
33	Purwomartani	Kalasan	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	V	6	Sedang
34	Tamanmartani	Kalasan	Merapi muda	-	V	1	Rendah
35	Tirtomartani	Kalasan	Merapi muda	501 – 950 (C)	V	4	Sedang
36	Prenggan	Kotagede	Merapi muda	-	V	1	Rendah
37	Purbayan	Kotagede	Merapi muda	0 – 250 (A)	V	2	Rendah
38	Rejowinangun	Kotagede	Merapi muda	-	V	1	Rendah

39	Donotirto	Kretek	Merapi muda	501 – 950 (C)	VI	5	Sedang
40	Parangtritis	Kretek	Aluvium, Wonosari, Nglanggran, Merapi muda	-	VII	3	Rendah
41	Tirtoharjo	Kretek	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
42	Tirtomulyo	Kretek	Merapi muda	501 – 950 (C)	VI	5	Sedang
43	Tirtosari	Kretek	Merapi muda	501 – 950 (C)	VI	5	Sedang
44	Gilangharjo	Pandak	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
45	Giriasih	Purwosari	Wonosari	-	VII	3	Rendah
46	Girijati	Purwosari	Wonosari, Nglanggran	0 – 250 (A)	VII	3	Sedang
47	Giritirto	Purwosari	Wonosari, Nglanggran	-	VII	3	Rendah
48	Sitimulyo	Piyungan	Semilir, Merapi muda	-	V	1	Rendah
49	Srimartani	Piyungan	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
50	Srimulyo	Piyungan	Semilir, Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VII	8	Tinggi
51	Bawuran	Pleret	Semilir, Aluvium, Merapi muda	-	VII	3	Rendah
52	Pleret	Pleret	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
53	Segoroyoso	Pleret	Aluvium, Semilir, Merapi muda	251 – 500 (B)	VII	5	Sedang
54	Wonokromo	Pleret	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	V	6	Sedang
55	Wonolelo	Pleret	Semilir, Aluvium	251 – 500 (B)	VII	5	Sedang
56	Bokoharjo	Prambanan	Semilir, Merapi muda	951 – 2000 (D)	V	5	Sedang
57	Madurejo	Prambanan	Semilir, Merapi muda	951 – 2000 (D)	V	5	Sedang
58	Sambirejo	Prambanan	Semilir, Merapi muda, Kebobutak	251 – 500 (B)	VI	4	Sedang
59	Sumberharjo	Prambanan	Semilir, Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang

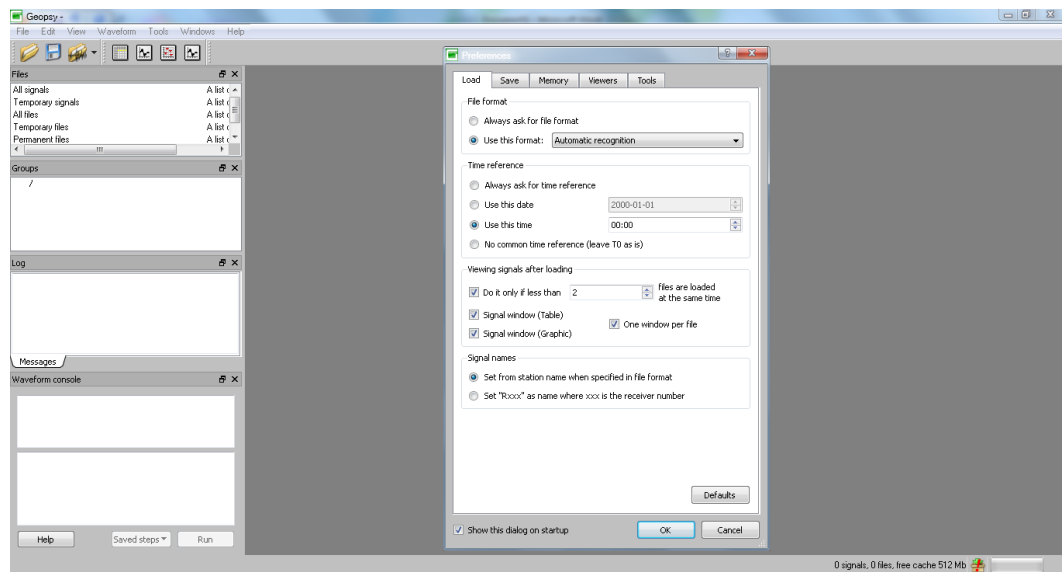
60	Wukirharjo	Prambanan	Merapi muda	-	VII	3	Rendah
61	Panjangrejo	Pundong	Merapi muda	2001 – 3500 (E)	VI	7	Sedang
62	Seloharjo	Pundong	Nglanggran, Merapi muda	-	VII	3	Rendah
63	Srihardono	Pundong	Merapi muda	-	VII	3	Rendah
64	Bangunharjo	Sewon	Merapi muda	-	V	1	Rendah
65	Panggungharjo	Sewon	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
66	Timbulharjo	Sewon	Merapi muda	-	VI	2	Rendah
67	Giwangan	Umbulharjo	Merapi muda	-	V	1	Rendah
68	Pandeyan	Umbulharjo	Merapi muda	-	V	1	Rendah

Dengan ‘-‘ pada kolom jumlah bangunan rusak berat menandakan kerusakan ringan pada bangunan

Lampiran 10. Proses Pengolahan Data Mikrotremor Menggunakan *Software Sesarray Geopsy*

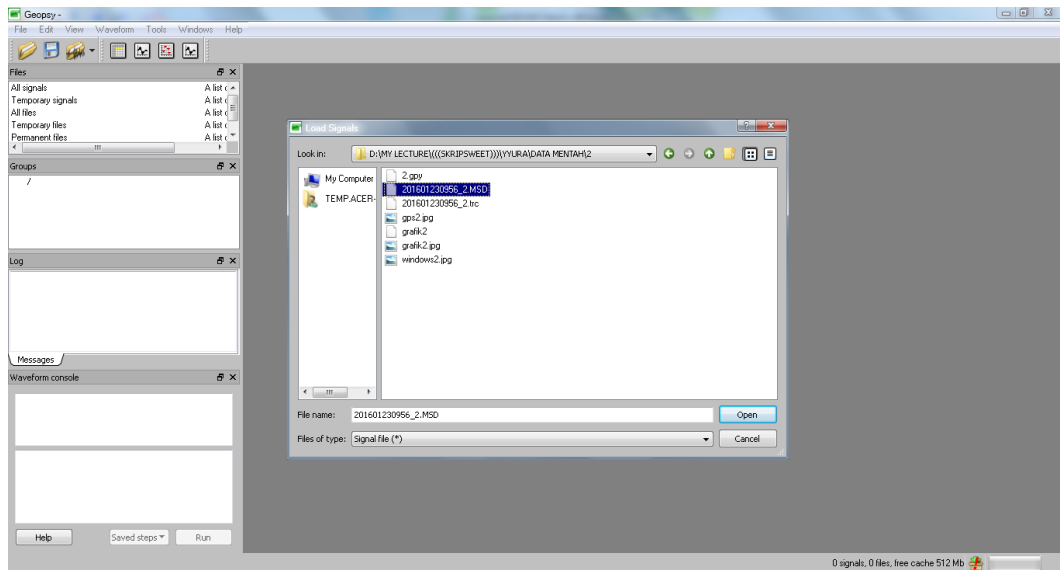
Proses pengolahan data mikrotremor menggunakan *software Sesarray Geopsy* bertujuan untuk melakukan *cutting* sinyal tanpa *noise* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuka *software Sesarray Geopsy*, sehingga akan muncul tampilan:



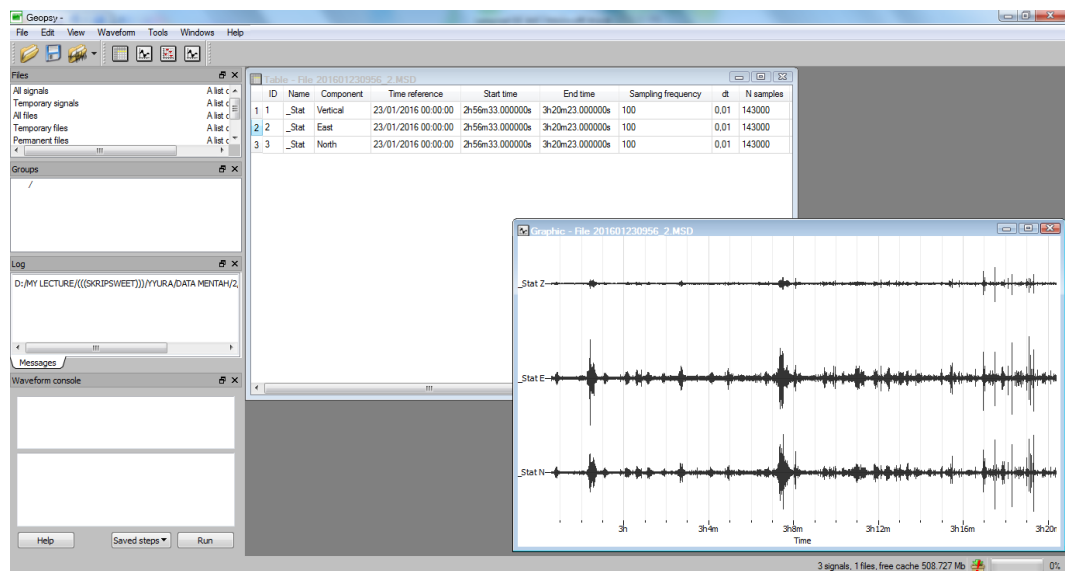
Gambar L1. Tampilan awal *software Sesarray Geopsy*.

2. Klik OK pada jendela *Preferences*.
3. Pada menu *File*, pilih *import signals* maka akan muncul tampilan jendela *load signals* tempat *file* data mikrotremor tersedia. Pilih *file* dalam format MINI SEED (.MSD), kemudian klik *Open*, maka akan muncul tampilan di bawah ini:



Gambar L2. Proses pemasukkan data

4. File yang dibuka akan memunculkan 2 tampilan jendela, yaitu *Table* berisi data tiga komponen sinyal (*Vertical*, *East*, dan *North*), dan *Graphic* merupakan hasil pengukuran yang terdiri dari tiga komponen sinyal yang masih mengandung *noise*.

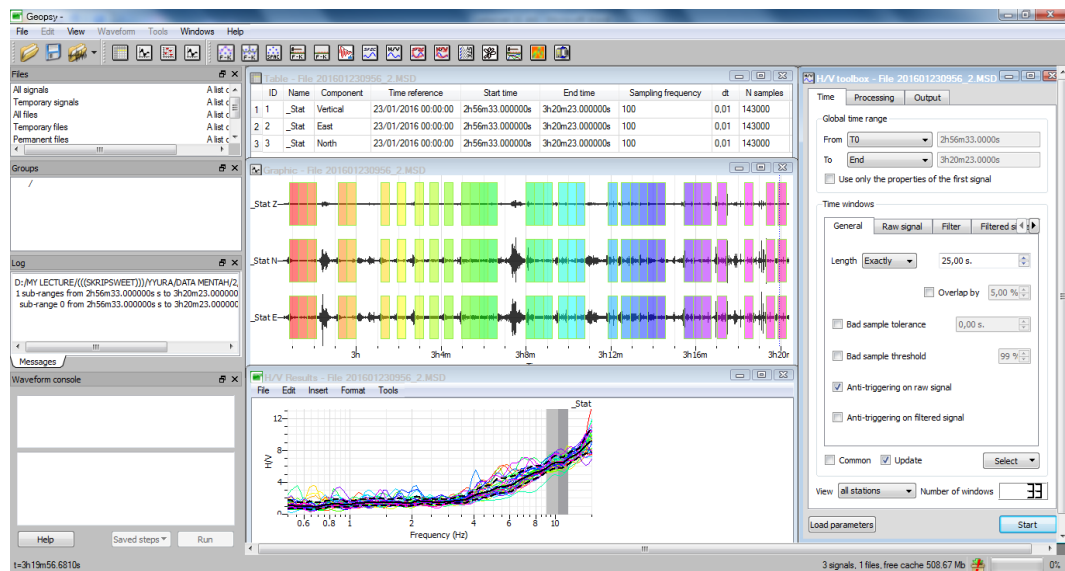


Gambar L3. *Table* dan *Graphic* tiga komponen sinyal

5. Pada menu *Tools*, pilih *H/V* maka akan muncul jendela *H/V toolbox* yang terdapat tiga pilihan kolom yaitu *Time*, *Processing*, dan *Output*.

- Pada kolom *Time* atur *length windows exactly* 25,00 sekon dan pada kolom *Select** pilih *Add* untuk melakukan pemilihan sinyal tanpa *noise*.
- Pada kolom *Processing* atur *Smoothing type* Konno & Ohmachi dan *Squared average* untuk *Horizontal components*.
- Pada kolom *Output* atur *Frequency sampling* mulai dari 0,50 Hz sampai 15,00 Hz dengan *Number of samples* 100.

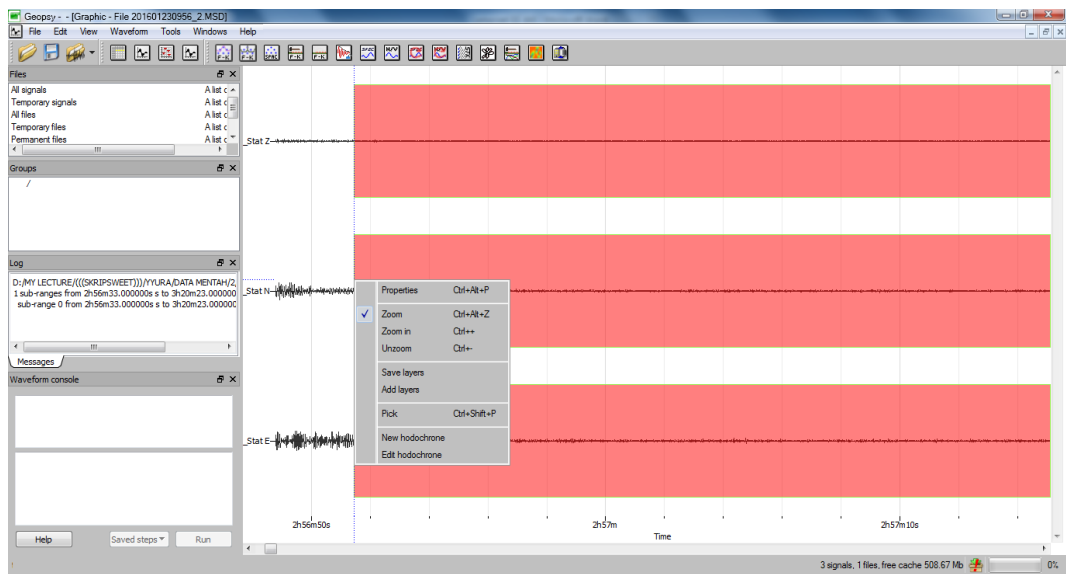
Setelah mengatur ketiga kolom pada jendela *H/V toolbox*, klik *Start*. Jendela *H/V Result* akan tampil dan pada jendela *Graphic* tiga komponen sinyal akan ter-window-kan berdasarkan sinyal tanpa *noise* yang ditandai dengan pengelompokan spektrum warna.



Gambar L4. Windowing sinyal tanpa noise

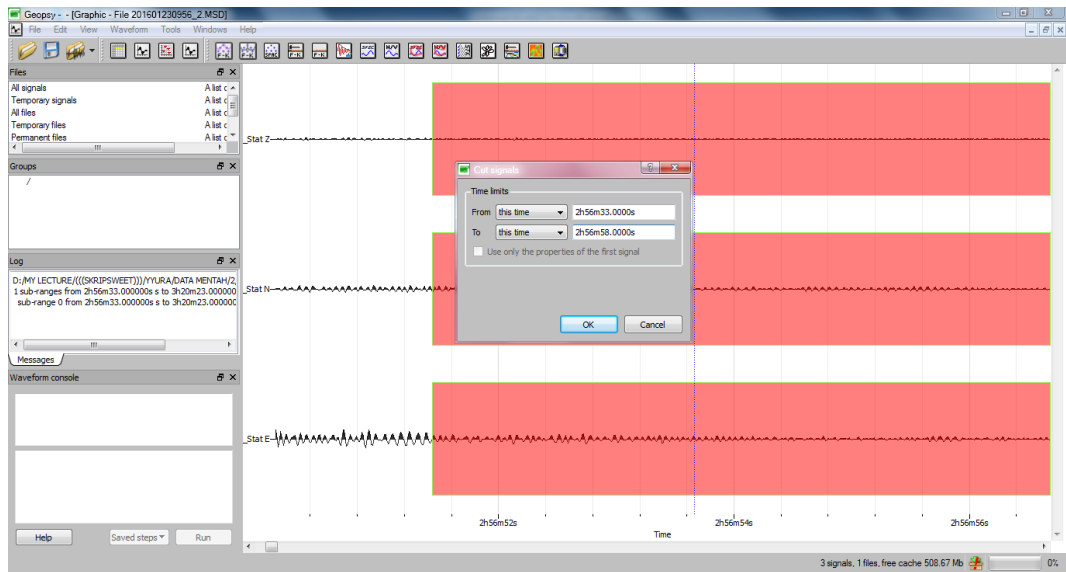
6. Pada jendela *Graphic*, setiap *window* menunjukkan durasi selama 25,00 sekon.

Banyaknya *window* tertera pada jendela *H/V Result* kolom *Time*, *Number of windows* (pada Gambar L4 berjumlah 33). Setiap *window* memiliki waktu awal dan akhir. Untuk mengetahui waktu awal setiap *window*, klik kanan pada sinyal, pilih *zoom*, tarik *pointer select* pada awal mulai pergantian warna untuk memperbesar tampilan sampai garis waktu berada tepat lurus dengan awal mulai *window*.



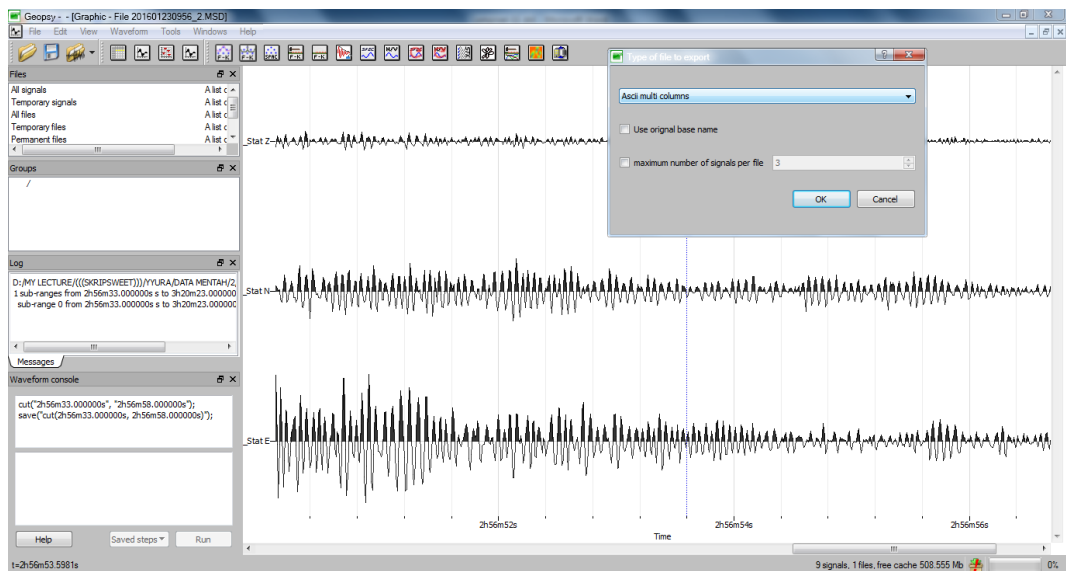
Gambar L5. Waktu awal setiap *window*

7. Setelah mencatat waktu awal setiap *window* sejumlah banyaknya *window*, pilih *Waveform* dan klik *cut* sehingga menampilkan jendela *Cut signals*. Atur *Time limits From this time* dan *To this time*. Tuliskan waktu awal mulai *window* pada *Time limits From this time* dan hasil jumlahkan 25 sekon dengan waktu awal mulai *window* pada *Time limits To this time*, kemudian klik OK.



Gambar L6. Proses *cutting* sinyal

8. Simpan hasil *cutting* sinyal dalam format *file* dengan cara meng-*export* hasil *cutting* sinyal tersebut. Caranya, pada menu *File* pilih *Export* maka akan muncul jendela *Type of file to export*. Pilih format *Ascii multi columns* kemudian klik OK.



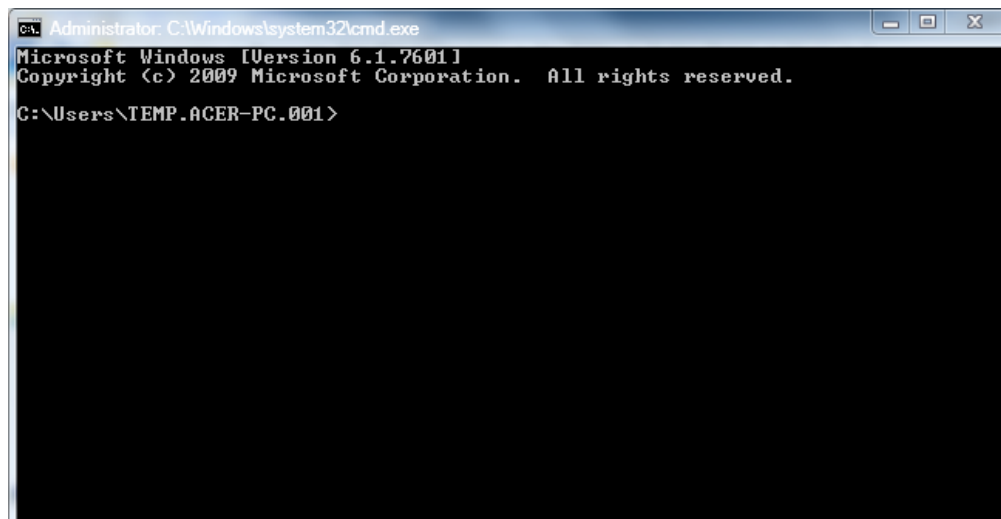
Gambar L7. Proses *export* sinyal tanpa noise

9. Pilih lokasi penyimpanan, beri nama dan klik *Save*. Lakukan langkah 7 dan 8 untuk setiap *window* dan ulangi langkah 3 sampai 9 untuk data yang lainnya.

Lampiran 11. Analisis Mikrotremor Menggunakan Software Matlab R2008a

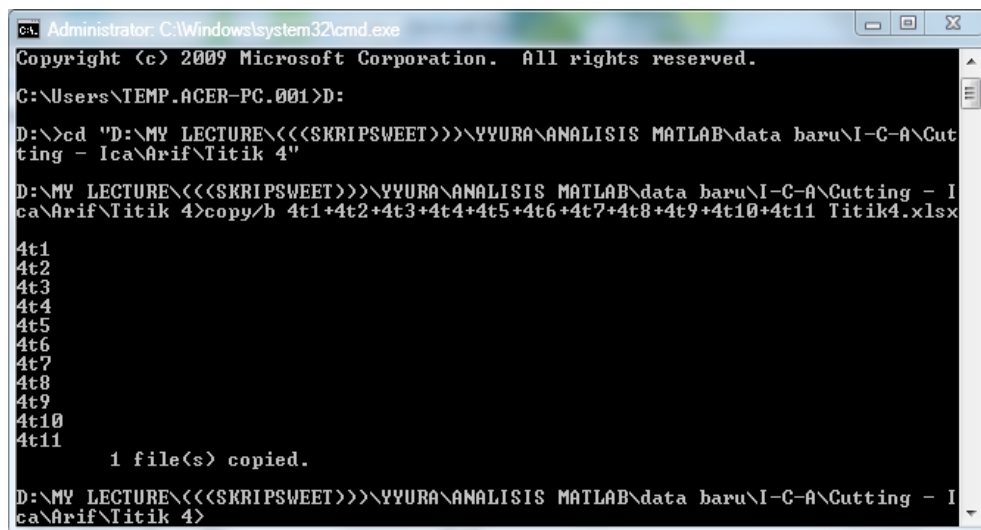
Analisis mikrotremor menggunakan *Software Matlab R2008a* bertujuan untuk mencari kurva *H/V*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Setelah *Cutting* data dilakukan menggunakan *Software Geopsy*, hasil *Cutting* disimpan dalam satu folder dengan Program Matlab yang terdiri dari *smoothing*, *FFT_64*, program pemanggil, dan program *HVSR* untuk masing-masing titik pengamatan.
2. Klik folder yang telah berisi semua data pada langkah 1, lalu tekan *Window + R*, dan ketik *cmd*, tekan *OK*, sehingga akan muncul jendela seperti gambar berikut:



Gambar L8. Tampilan awal *Command Prompt*

3. Setelah muncul jendela di atas, tuliskan perintah dengan urutan sebagai berikut:
- Mengetik *Local disc* penyimpanan hasil *cutting* sinyal dengan di akhiri tanda titik dua (:), lalu tekan *Enter*
 - Mengetik *cd* (spasi) “*paste address* yang telah di-*copy*”, lalu tekan *Enter*
 - Mengetik *copy/b* (spasi) *4t1+4t2+4t3+.....+n* (spasi) *filename.xls*, dengan *n* adalah banyaknya *cutting* atau *number of window* dari masing-masing titik penelitian dan *filename.xlsx* adalah nama *file* yang akan disimpan dalam format *Excel Workbook (xlsx)*, lalu tekan *Enter*. Catatan untuk nama setiap *window* harus sesuai dengan nama setiap *window* yang telah disimpan dalam folder. Hasilnya akan muncul jendela seperti Gambar L9, dan file telah ter-*copy* dalam format *.xlsx*



```
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.
C:\Users\TEMP.ACER-PC.001>D:
D:\>cd "D:\MY LECTURE\<<<SKRIPSWEET>>>\YYURA\ANALISIS MATLAB\data baru\I-C-A\Cutting - Ica\Arif\Titik 4"
D:\MY LECTURE\<<<SKRIPSWEET>>>\YYURA\ANALISIS MATLAB\data baru\I-C-A\Cutting - Ica\Arif\Titik 4>copy/b 4t1+4t2+4t3+4t4+4t5+4t6+4t7+4t8+4t9+4t10+4t11 Titik4.xlsx
4t1
4t2
4t3
4t4
4t5
4t6
4t7
4t8
4t9
4t10
4t11
1 file(s) copied.
D:\MY LECTURE\<<<SKRIPSWEET>>>\YYURA\ANALISIS MATLAB\data baru\I-C-A\Cutting - Ica\Arif\Titik 4>
```

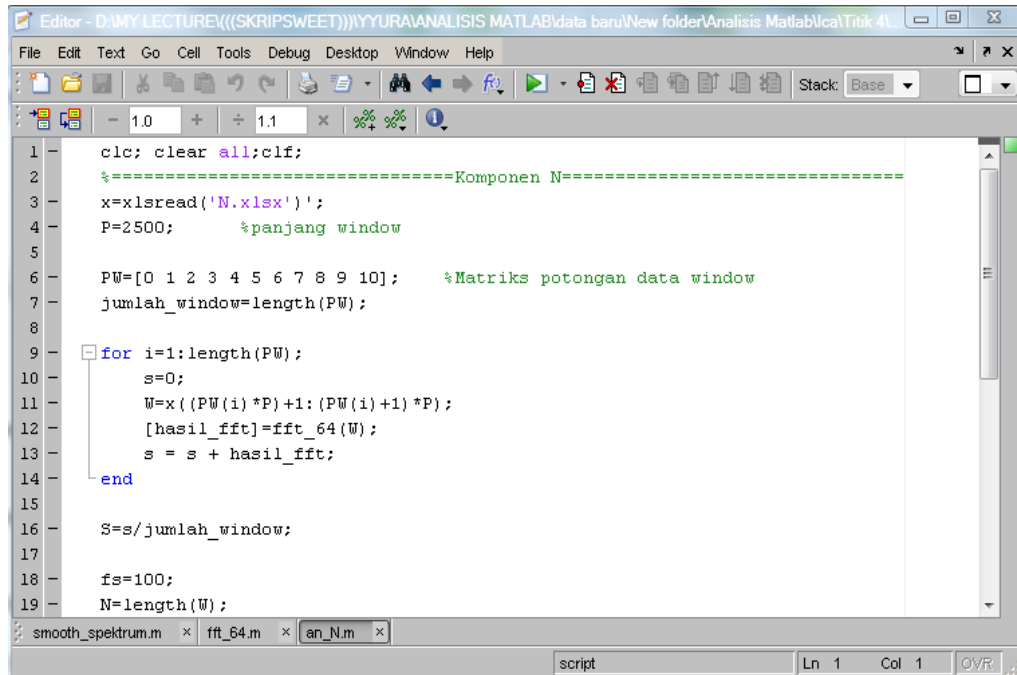
Gambar L9. Input masukan *Command Prompt*

4. Membuka *file* yang telah diubah ke dalam format *Excel Workbook (.xlsx)* menggunakan *software Microsoft Excel*, maka tampilannya seperti berikut:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-4369	-2153	4578							
2	-2204	-779	750							
3	3861	180	2478							
4	2845	170	4042							
5	-134	348	-1252							
6	-319	1596	1979							
7	3389	2861	3074							
8	4986	1075	1870							
9	2139	289	2577							
10	1450	650	2612							
11	2313	519	3800							
12	2037	641	1771							
13	425	-97	-910							
14	-1247	358	-1202							
15	-1776	964	-1095							

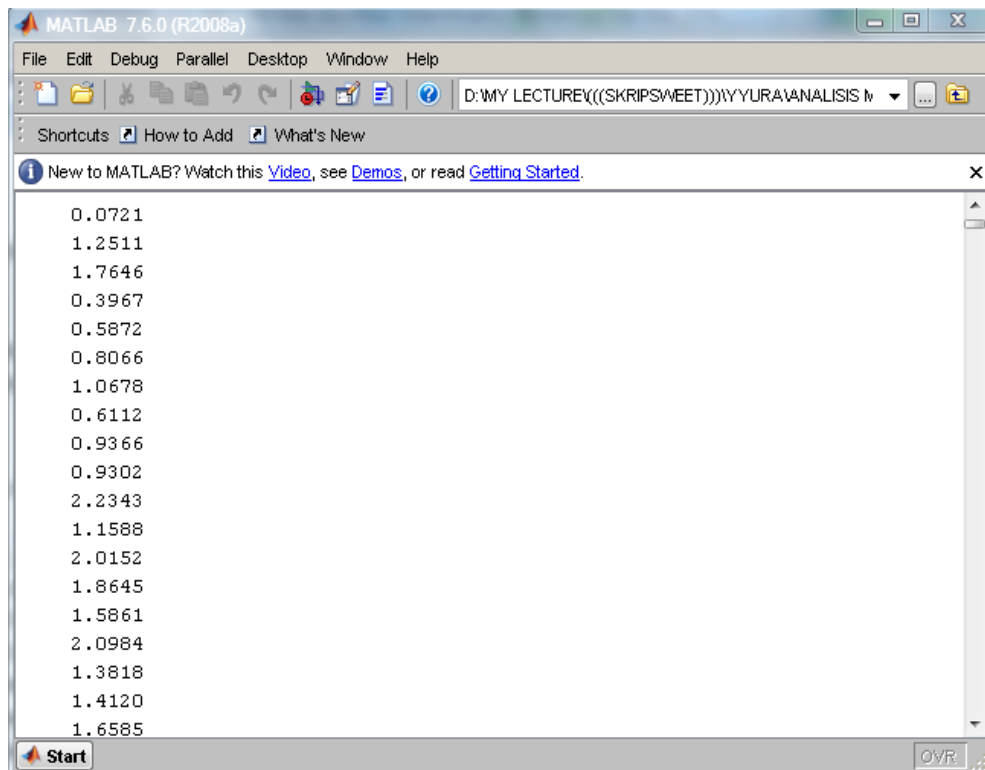
Gambar L10. Nilai tiga komponen sinyal pada Titik 4

5. Kolom A menunjukkan *file* data SHZ, kolom B menunjukkan *file* data SHE, dan kolom C menunjukkan *file* data SHN. Kemudian membuat komponen data mikrotremor yang awalnya terdapat pada satu *file* menjadi tiga *file* sehingga 2 komponen horizontal terpisah dengan komponen vertikal. Simpan *file* dengan format E.xlsx untuk komponen *East-West*, N.xlsx untuk komponen *North-South*, dan Z.xlsx untuk komponen vertikal.
6. Membuka program *Matlab R2008a* yang terdiri dari *smoothing*, *FFT_64*, dan program pemanggil, untuk menganalisis tiap komponen dengan cara FFT menggunakan program *radix*.



Gambar L11. Input program Matlab

7. Ketiga program tersebut kemudian di-run sehingga pada *Command window* akan muncul nilai hasil FFT menggunakan *radix* seperti pada gambar berikut:

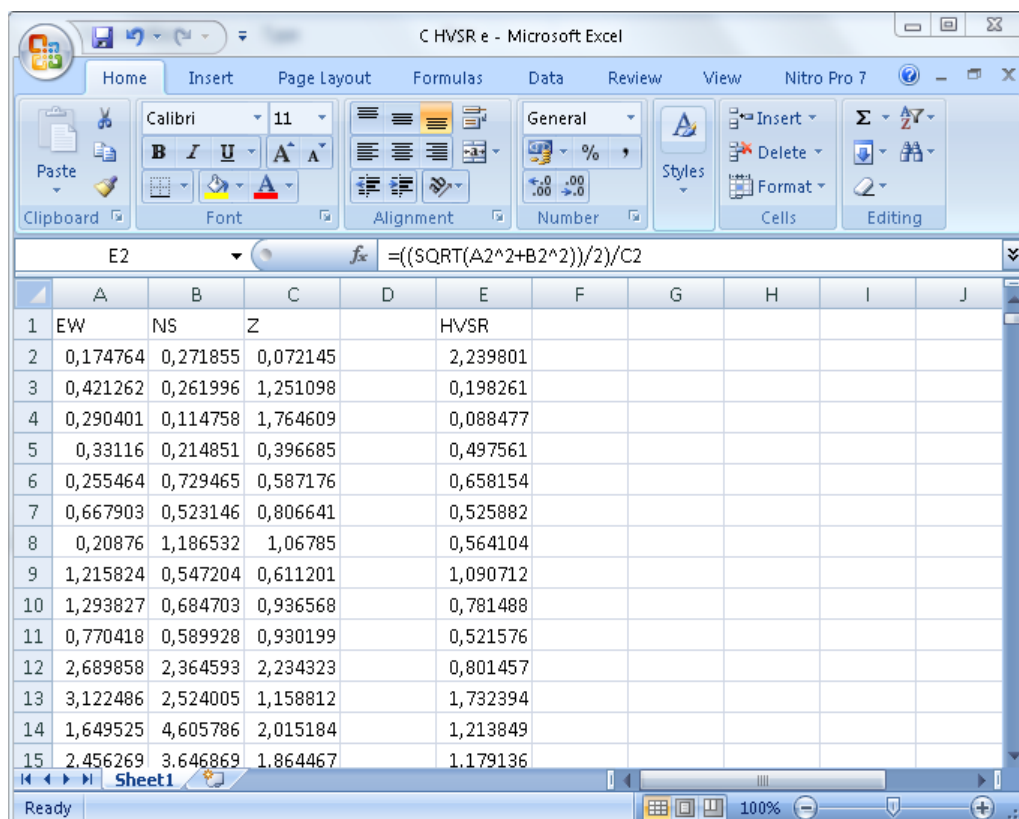


Gambar L12. Nilai FFT komponen sinyal

8. *Copy*-kan nilai hasil FFT yang terdapat pada *Command window* pada *Excel worksheet*. Ganti nama *file* yang akan dipanggil pada program pemanggil dengan kedua komponen yang lainnya untuk mengetahui hasil FFT dari kedua komponen tersebut. *Copy* hasil FFT dari ketiga komponen tersebut dan *paste* pada satu *Excel worksheet* baru. Setelah itu hitung nilai *HVSR* dari ketiga komponen tersebut menggunakan persamaan:

$$HVSR = \frac{(\sqrt{E^2 + N^2})/2}{Z}$$

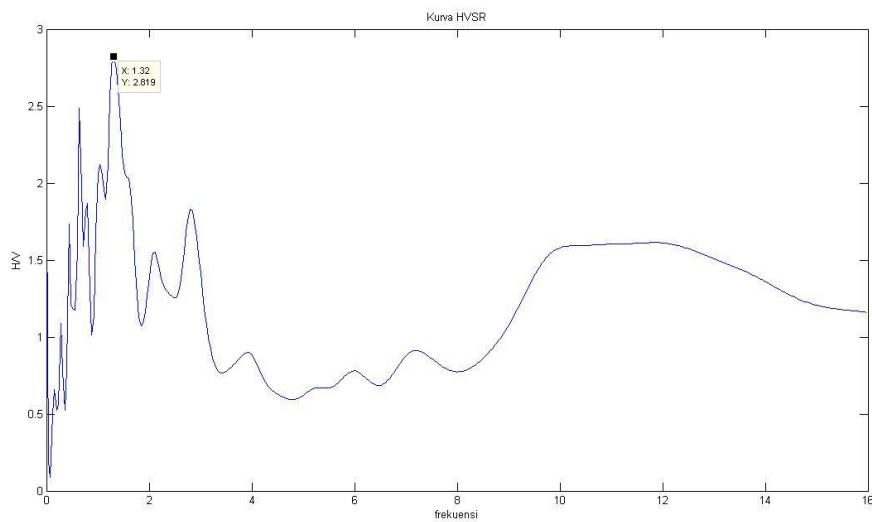
Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:



	A	B	C	E
1	EW	NS	Z	HVSR
2	0,174764	0,271855	0,072145	2,239801
3	0,421262	0,261996	1,251098	0,198261
4	0,290401	0,114758	1,764609	0,088477
5	0,33116	0,214851	0,396685	0,497561
6	0,255464	0,729465	0,587176	0,658154
7	0,667903	0,523146	0,806641	0,525882
8	0,20876	1,186532	1,06785	0,564104
9	1,215824	0,547204	0,611201	1,090712
10	1,293827	0,684703	0,936568	0,781488
11	0,770418	0,589928	0,930199	0,521576
12	2,689858	2,364593	2,234323	0,801457
13	3,122486	2,524005	1,158812	1,732394
14	1,649525	4,605786	2,015184	1,213849
15	2,456269	3,646869	1,864467	1,179136

Gambar L13. Nilai FFT tiga komponen sinyal dan HVSR

9. Untuk memperoleh kurva H/V menggunakan *software Matlab R2008a* terlebih dahulu *copy* dan *paste* nilai $HVSR$ ke dalam *worksheet* yang berbeda dan simpan dengan nama $HVSR.xlsx$.
10. Buka program $HVSR$ pada *Matlab* kemudian di-*run* sehingga akan didapat hasil *plotting* seperti Gambar L14.



Gambar L14. Kurva H/V hasil analisis Matlab

Dari grafik akan diketahui nilai amplifikasi pada sumbu y dan nilai frekuensi predomnan pada sumbu x .

11. Proses ini dilakukan untuk semua titik penelitian.

Lampiran 12. Program Matlab

a. Program FFT

```
function [hasil]=fft_64(W)
    %W adalah sinyal input
    N=length(W);    %Jumlah data sinyal
    r=64;    %radix 64
    k=0:(N/r)-1;
    n=0:N-1;

    %=====FFT RADIX 64=====

    z1=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r)/N)*W(r*k+1)';
    z2=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+1)/N)*W(r*k+2)';
    z3=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+2)/N)*W(r*k+3)';
    z4=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+3)/N)*W(r*k+4)';
    z5=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+4)/N)*W(r*k+5)';
    z6=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+5)/N)*W(r*k+6)';
    z7=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+6)/N)*W(r*k+7)';
    z8=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+7)/N)*W(r*k+8)';
    z9=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+8)/N)*W(r*k+9)';
    z10=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+9)/N)*W(r*k+10)';
    z11=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+10)/N)*W(r*k+11)';
    z12=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+11)/N)*W(r*k+12)';
    z13=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+12)/N)*W(r*k+13)';
    z14=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+13)/N)*W(r*k+14)';
    z15=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+14)/N)*W(r*k+15)';
    z16=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+15)/N)*W(r*k+16)';
    z17=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+16)/N)*W(r*k+17)';
    z18=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+17)/N)*W(r*k+18)';
    z19=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+18)/N)*W(r*k+19)';
    z20=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+19)/N)*W(r*k+20)';
    z21=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+20)/N)*W(r*k+21)';
    z22=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+21)/N)*W(r*k+22)';
    z23=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+22)/N)*W(r*k+23)';
    z24=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+23)/N)*W(r*k+24)';
    z25=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+24)/N)*W(r*k+25)';
    z26=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+25)/N)*W(r*k+26)';
    z27=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+26)/N)*W(r*k+27)';
    z28=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+27)/N)*W(r*k+28)';
    z29=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+28)/N)*W(r*k+29)';
    z30=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+29)/N)*W(r*k+30)';
    z31=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+30)/N)*W(r*k+31)';
    z32=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+31)/N)*W(r*k+32)';
    z33=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+32)/N)*W(r*k+33)';
    z34=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+33)/N)*W(r*k+34)';
    z35=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+34)/N)*W(r*k+35)';
    z36=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+35)/N)*W(r*k+36)';
    z37=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+36)/N)*W(r*k+37)';
    z38=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+37)/N)*W(r*k+38)';
    z39=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+38)/N)*W(r*k+39)';
    z40=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+39)/N)*W(r*k+40)';
```

```

z41=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+40)/N)*W(r*k+41)';
z42=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+41)/N)*W(r*k+42)';
z43=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+42)/N)*W(r*k+43)';
z44=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+43)/N)*W(r*k+44)';
z45=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+44)/N)*W(r*k+45)';
z46=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+45)/N)*W(r*k+46)';
z47=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+46)/N)*W(r*k+47)';
z48=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+47)/N)*W(r*k+48)';
z49=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+48)/N)*W(r*k+49)';
z50=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+49)/N)*W(r*k+50)';
z51=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+50)/N)*W(r*k+51)';
z52=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+51)/N)*W(r*k+52)';
z53=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+52)/N)*W(r*k+53)';
z54=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+53)/N)*W(r*k+54)';
z55=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+54)/N)*W(r*k+55)';
z56=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+55)/N)*W(r*k+56)';
z57=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+56)/N)*W(r*k+57)';
z58=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+57)/N)*W(r*k+58)';
z59=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+58)/N)*W(r*k+59)';
z60=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+59)/N)*W(r*k+60)';
z61=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+60)/N)*W(r*k+61)';
z62=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+61)/N)*W(r*k+62)';
z63=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+62)/N)*W(r*k+63)';
z64=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+63)/N)*W(r*k+64)';

z=z1+z2+z3+z4+z5+z6+z7+z8+z9+z10+z11+z12+z13+z14+z15+z16+z17+z18+z
19+z20+z21+z22+z23+z24+z25+z26+z27+z28+z29+z30+z31+z32+z33+z34+z35
+z36+z37+z38+z39+z40+z41+z42+z43+z44+z45+z46+z47+z48+z49+z50+z51+z
52+z53+z54+z55+z56+z57+z58+z59+z60+z61+z62+z63+z64;

hasil=abs(2*z/N);

end

```

b. Program *smoothing*

```

function [spektrum_baru]=smooth_spektrum(S,f,b)
%Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB
[smooth_matrix]=hitung_smoothing_matrix(f,b);
spektrum_baru=S*smooth_matrix;
end

function [smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b)
%Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB
%f == matrix frekuensi
%fc == center frequency
%b == konno-ohmachi bandwidth
l=length(f);
%apabila f_c=0 buat matriks 0 sepanjang l, kecuali suku pertama yg
%bernilai 1
if f_c==0
smooth_window=zeros(1,l);
smooth_window(1)=1;

```

```

smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
else
smooth_window=(sin(b*log10(f./f_c))./(b*log10(f./f_c))).^4;
%mengganti inf dengan 1
posisi_fc= f==f_c;
smooth_window(posisi_fc)=1;
%mengganti NaN dengan 0
posisi_NaN= isnan(smooth_window);
smooth_window(posisi_NaN)=0;
smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
end
end
function [smooth_matrix]=hitung_smoothing_matrix(f,b)
%Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB
%b adalah bandwidth Konno-Ohmachi
%smooth_matrix berdimensi length(f) x length(f)
l=length(f);
smooth_matrix=[];
for j=1:1:l
f_c=f(j);
[smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b);
smooth_matrix=[smooth_matrix smooth_window'];
end
end

```

c. Program pemanggil komponen sinyal

```

clc; clear all;clf;
%=====Komponen
N=====
x=xlsread('N.xlsx');
P=2500;          %panjang window

PW=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];    %Matriks potongan data window
jumlah_window=length(PW);

for i=1:length(PW);
    s=0;
    W=x((PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P);
    [hasil_fft]=fft_64(W);
    s = s + hasil_fft;
end

S=s/jumlah_window;

fs=100;
N=length(W);
k=0:1:(N-1);
fx=(fs/N)*k';

f=fx';

```

```
St=S';
```

```
%===== Smoothingnya=====
```

```
b=40;
```

```
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);
```

```
S1t=S1';
```

```
%=====Plotnya=====
```

```
%plot(f(1:400),St(1:400),'b'); hold on;
```

```
plot(f(1:400),S1(1:400),'r');
```

```
title('Kurva N');
```

```
xlabel('frekuensi'); ylabel('H/V');
```

d. Program pemanggil HVSR

```
clc; clear all;clf;
```

```
x=xlsread('HVSR2.xlsx');
```

```
fs=100;
```

```
N=length(x);
```

```
k=0:1:(N-1);
```

```
f=(fs/N)*k';
```

```
plot(f(1:400),x(1:400));
```

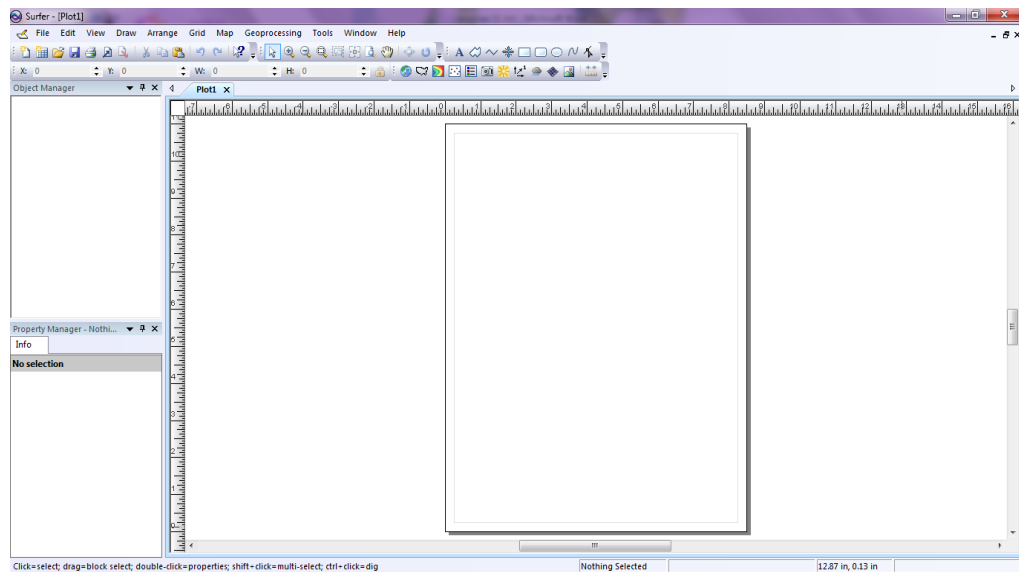
```
title('Kurva HVSR');
```

```
xlabel('frekuensi'); ylabel('H/V');
```

Lampiran 13. Peta Pemodelan Hasil Penelitian

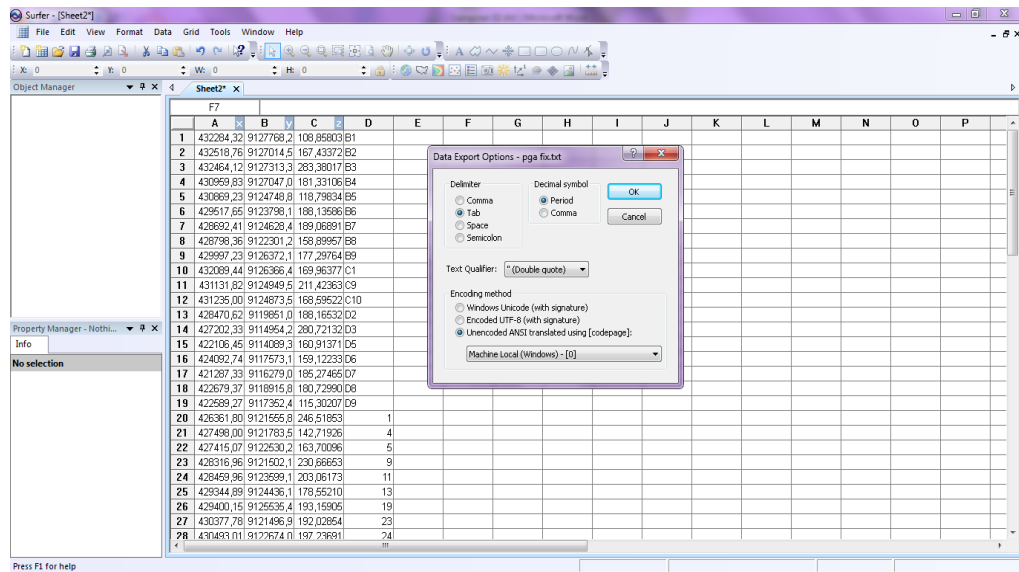
Peta pemodelan dibuat menggunakan *software Surfer 12*. Berikut langkah-langkah untuk melakukan pemetaan terhadap nilai percepatan getaran tanah maksimum:

1. Buka *software Surfer 12*, lalu akan muncul tampilan sebagai berikut:



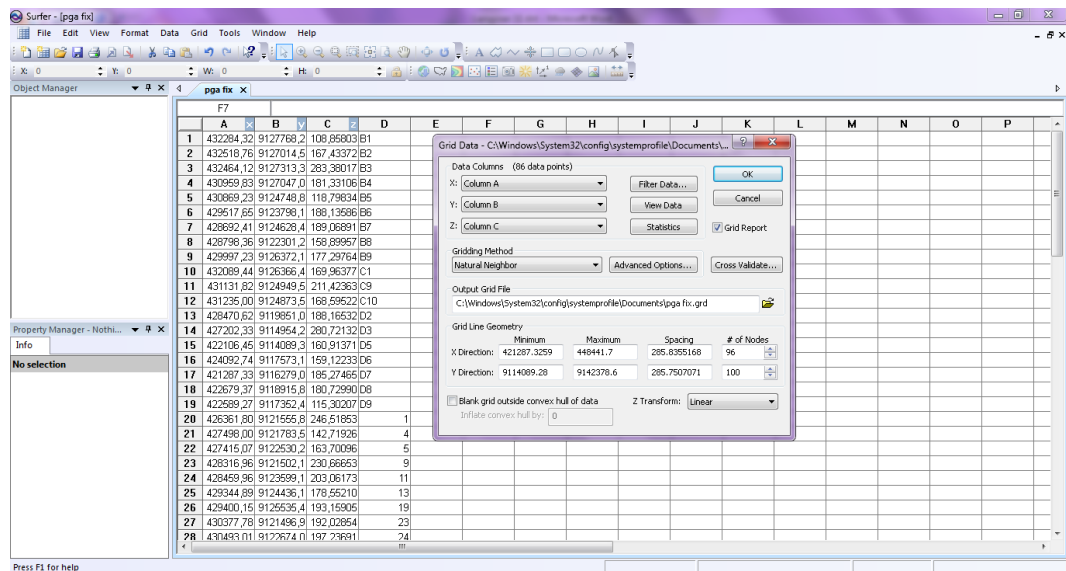
Gambar L15. Tampilan awal *Surfer 12*

2. Pilih *New Worksheet*, pada kolom A diberi nilai koordinat penelitian dalam mT , kolom B diberi nilai koordinat penelitian dalam mU , nilai percepatan getaran tanah maksimum pada kolom C, dan nama titik penelitian pada kolom D. Kemudian *Save As*, beri nama dan simpan *file* dengan format *TXT Text Data* (.txt) kemudian klik *save* sehingga akan muncul jendela *Data Export Options*. Pilih *Tab* pada kolom *Delimiter* dan klik OK.



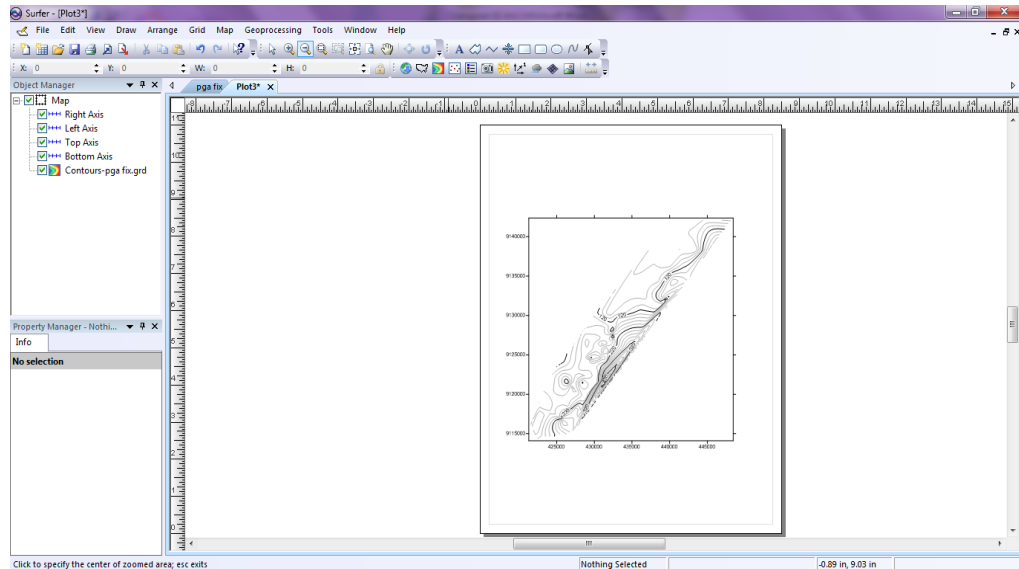
Gambar L16. Proses penyimpanan *file* dalam format .txt

3. Pada menu *Grid* pilih *Data* dan buka *file* yang baru saja disimpan kemudian klik OK, sehingga akan muncul jendela *Grid Data*. Pilih *Natural Neighbor* pada kolom *Gridding Method* kemudian OK. *File* akan tersimpan dalam format .grd.



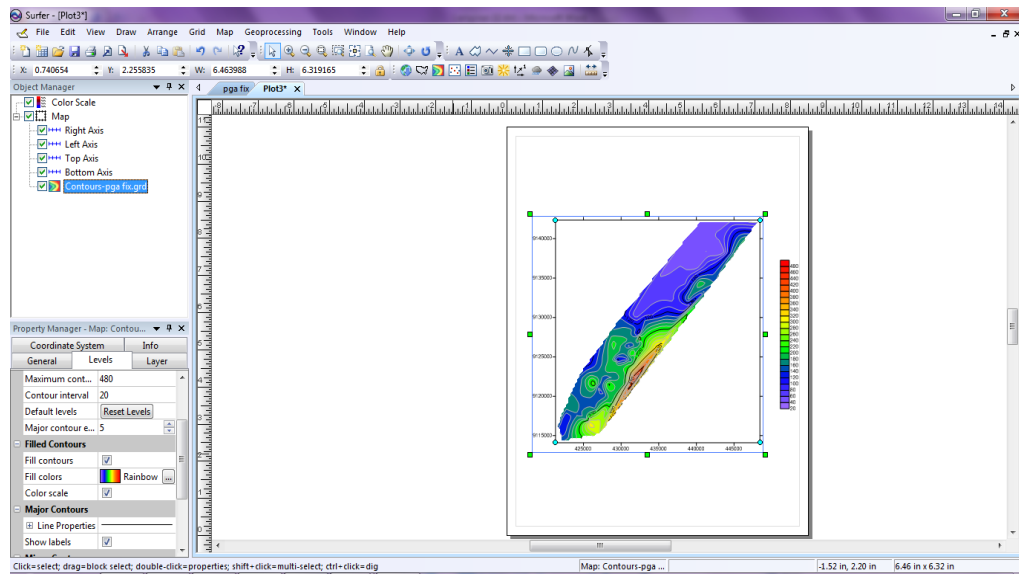
Gambar L17. Proses pembuatan *grid data*

4. Pilih *New Plot* pada *Standard buttons*. Kemudian pilih *New Contour Map* pada *Map buttons*. *Open file .grd* yang baru saja disimpan, maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



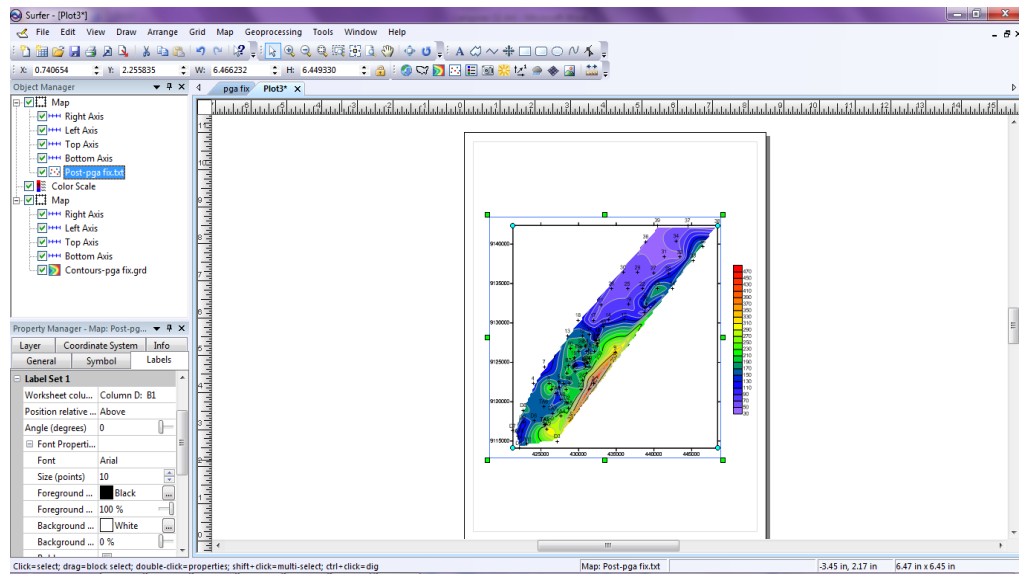
Gambar L18. Proses *Contours Map*

5. Untuk memberi warna *contour*, klik 2x *icon Contours* pada jendela *Object Manager*, maka akan muncul jendela *Property Manager*. Pada kolom *Levels*, munculkan *Fill contours* dan *Color scale*. Kemudian pilih *Rainbow* (sebagai contoh) pada *Fill colors*, maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



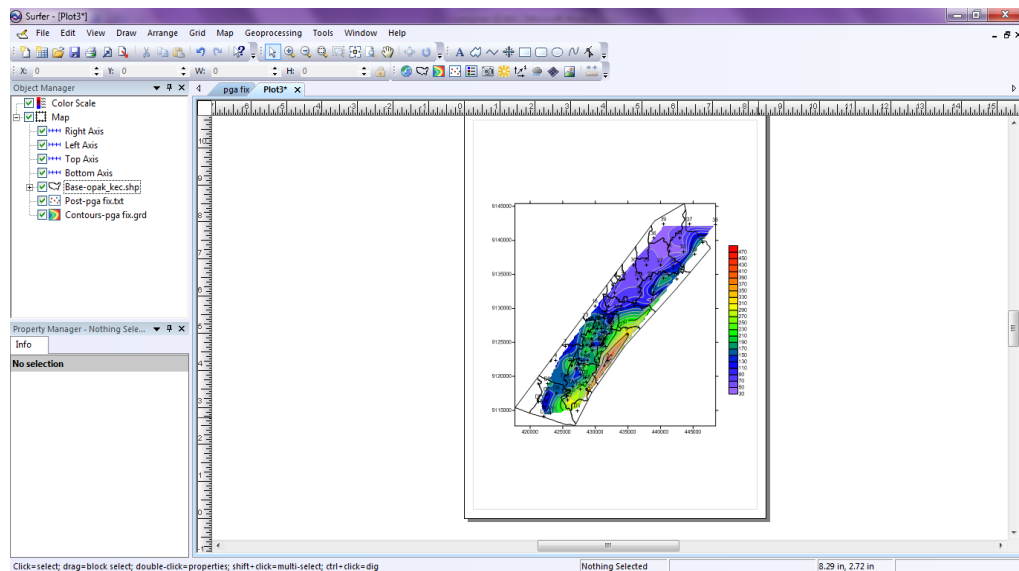
Gambar L19. Tampilan skala pada *Contours Map*

6. Untuk memunculkan label titik pengukuran, pilih *New Post Map* pada *Map buttons*. *Open file* telah disimpan dalam format .txt kemudian klik OK. Klik *Post* pada jendela *Object Manager* maka akan muncul jendela *Property Manager*. Pada kolom *Symbol* terdapat pengaturan untuk merubah bentuk dan ukuran simbol titik penelitian, sedangkan untuk memunculkan label titik penelitian diatur dalam kolom *Labels*, lalu pada *Label Set 1* terdapat *Worksheet column* dan pilih *Column D*. Untuk mengatur *font*, *size*, dan *color label* klik *Font Properties* pada kolom *Labels*.



Gambar L20. *Overlay Contour Map* dengan titik penelitian

7. Untuk menggabungkan peta pemodelan dengan peta administrasi penelitian dapat dilakukan dengan cara pilih *New Base Map* pada *Map buttons*. Cari peta yang akan digunakan. Klik *Open*. Blok semua peta atau lebih mudah *Ctrl+A*. Pilih *Overlay Maps* pada menu *Map*.



Gambar L21. *Overlay Contour Map* dengan peta administrasi penelitian

Lampiran 14. Dokumentasi



Lampiran 15

Data Sheet Sesame